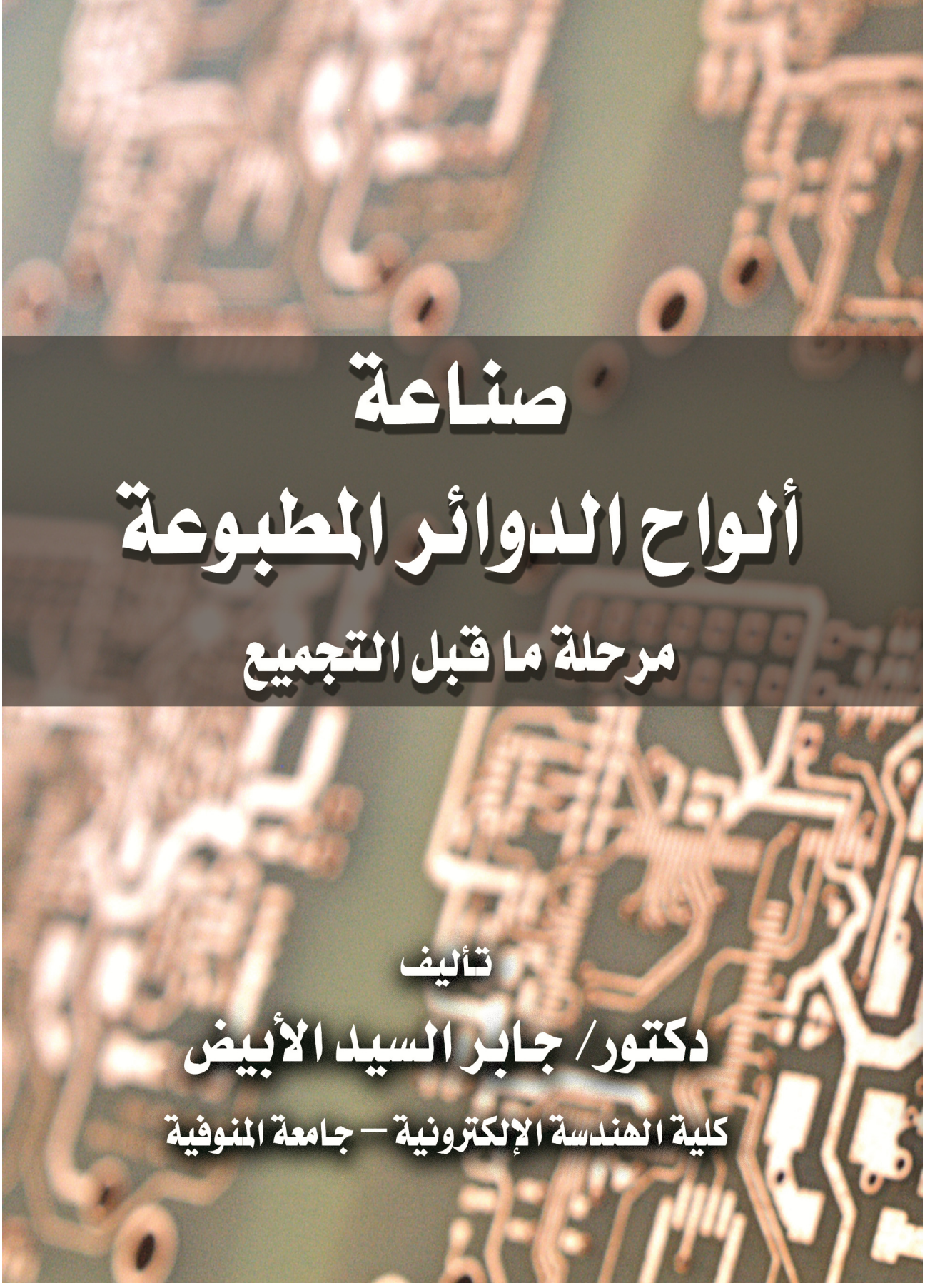


صناعة
ألواح الدوائر المطبوعة
مرحلة ما قبل التجميع

تأليف

دكتور/ جابر السيد الأبيض

كلية الهندسة الإلكترونية – جامعة المنوفية

صناعة

ألواح الدوائر المطبوعة

مرحلة ما قبل التجميع

Bare Printed Circuit Board Manufacturing

تأليف

دكتور/ جابر السيد الأبيض

حقوق النشر
الطبعة الأولى ٢٠١٤
جميع الحقوق محفوظة للمؤلف

رقم الإيداع
(٢٠١٤/٧٧٩٧)
الترقيم الدولي
(٩٧٨-٩٧٧-٩٠-١٥٩٧-٢)

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو اختزان مادته العلمية أو نقله بأى طريقة إلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو بأى وسيلة أخرى دون موافقة كتابية من المؤلف.ومن يخالف ذلك يعرض نفسه للمساءلة القانونية.

أحب الناس إلى الله

أنفعهم للناس

تقديم

في إطار تهيئة العقلية المصرية خاصة والعربية عامة لتبني الصناعات الالكترونية جاء بذل هذا المجهود المتواصل دون كلل ولا تعب ولا حيود عن هذا الهدف السامي، بل أن تناول هذه العلوم التكنولوجية بلسان الامة ماهو إلا طرح وتيسيير للمعلومات الفنية التي لا يمكن لأى عامل في هذا المجال من الحصول عليها أو التعرف على دهاليز أى فرع من فروع أى علم إلا بالكتابة من القائمين على التدريس والبحث فيه حتى تمكنه من بناء وتخطيط طريقة تفكيره الصحيحة والحديثة.

من المعروف أن أى مهندس في أى فرع هندسي فور تخرجه يعمل في أحد الأفرع المهنية التالية:

- فرع التشغيل والصيانة Operation and Maintenance (O&M)
- فرع التركيبات Installations
- فرع التصنيع Manufacturing

ومما لا شك فيه أن الفرعين الأول والثاني اصبح لدينا فيهما اجيال امتهرت فنونهما واصبحت قادرة على التشغيل والتركيب على مستوى المهنة عالمياً إلا أنها ينقصها الإلتزام بقواعد الامان والمعايير القياسية وجدولة الزمن وفنون الصيانة والجودة بوجه عام للوصول إلى الكفاءة المقننة في هذه الافرع.

ومن المعروف أننا نحن العاملون في مجال التعليم الهندسي الإلكتروني قد بهرتنا سرعة التقدم في الصناعات الالكترونية مثلنا مثل العامة، فذهبنا نقفز لاهثين للنيل من معلومات تطبيقية حديثة إلى أخرى أحدث منها ونضع المقررات والمناهج الأحدث دون الوصول بالتطبيق الحديث إلى مداه الصناعي والتطبيقي. وأصبح خريجينا غير مكتملي المعلومة التكنولوجية وليس أمامهم سوى التركيب والتشغيل والعزوف كلياً عن التصنيع.

إن من أهم التكنولوجيات التي تركت ولم يتم تناولها أكاديمياً سواء نظرياً أو عملياً ولا أجد عذراً لهذا، هى تكنولوجيا صناعة ألواح الدوائر المطبوعة، بالرغم من أنها تمثل العمود الفقري في الصناعات الإلكترونية. وبالرغم من أننا في نفس الوقت قفزنا إلى تدريس تكنولوجيات صناعة عناصر أشباه الموصلات والدوائر المتكاملة ذات التدريج العالي جداً VLSI، والتي تحتاج إلى إمكانيات معملية عالية جداً لا نستطيع تحقيقها. وهكذا نقفز من تكنولوجيا إلى أخرى دون الاسقاط الانتاجي منها

على مجتماعاتنا، حتى أن العناصر المفردة (المقاومة، المكثف، ..) لم نصنع منها هى الأخرى شيئاً يذكر، بالرغم من أن العالم قام بتطويرها إلى العناصر سطحية التثبيت SMD وبالتالي تم تطوير ألواح الدوائر المطبوعة إلى الادق والاخف وزناً والاقل استهلاكاً للقدرة الكهربائية والأكثر كثافة لوصلاتها.

عزيزي القاريء، هناك أربعة مراحل لتصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وهى: مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة الخام raw، ثم مرحلة تصميم الواح الدوائر المطبوعة، ثم مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة العارية bare وهى المعروفة بمرحلة ما قبل التجميع، ثم مرحلة تجميع العناصر على ألواح الدوائر المطبوعة. المرحلة الأولى تختص بصناعة الالواح الخام والتي لا يتواجد فيها فنون الهندسة الألكترونية وبالتالي يمكننا حذفها من مراحل تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة والاهتمام بمراحل : التصميم والتصنيع قبل التجميع والتجميع.

من خلال قراءة الكتب العالمية الصادرة في تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وجدت أنها عبارة عن كتب جامعة للتصميم والتصنيع والتجميع والفحص مجتمعة لألواح الدوائر المطبوعة وبالتالي افقدت هذه الفنون المذكورة زهوتها وجديتها وجاذبيتها ولم يستطع القاريء التمييز السريع بينها. بل وافقدت القاريء قدرة القراءة المتصلة والمميزة واستخلاص المعرفة.

ولذلك خصصت هذا الكتاب للكتابة عن مرحلة تصنيع ألواح الدوائر المطبوعة قبل التجميع وبعد مرحلة التصميم. وهى المرحلة التي يتم فيها تشكيل المسارات والوسائد النحاسية التي تمثل التوصيلات الداخلية بين عناصر الدائرة وبين الدائرة ودوائر أخرى. وفي حالة ألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات لتحقيق التوصيلات الداخلية الكثيفة للدائرة دون حدوث تقاطعات بين بعضها البعض كان لزاماً على الصانع تحقيق عدد من التوصيلات بين هذه الطبقات المتعددة من خلال نقاط عبور متعددة vias . ونتيجة لسرعة تأكسد النحاس مع أوكسجين الجو، كان لزاماً على الصانع استخدام وسائل عدة لحماية النحاس مثل تطبيق قناع اللحام على المسارات والوسائد وحماية العناصر بطلاء اللوح بمادة الورنيش والعديد من العمليات الميكانيكية.

يتكون هذا الكتاب من ستة أبواب وملحق عن الكلمات العربية وما يقابلها من الكلمات الانجليزية حتى يتسنى للقاريء الفهم العميق، مع معرفته للمصطلح الاجنبي الذي يمكنه من البحث في معناه. الباب الأول عبارة عن مقدمة لموضوع ألواح الدوائر المطبوعة. يناقش في هذا الباب تم دراسة أساسيات الألواح المطبوعة من ناحية كيفية ربط العناصر الالكترونية في ألواح الدوائر المطبوعة وطرق تثبيتها وتم سرد أنواع أغلفة العناصر سواء التقليدية منها أم سطحية التثبيت SMD. ثم يقوم المؤلف بإستعراض مميزات الالواح المطبوعة ونبذة تاريخية عن كيفية إكتشافها وتداولها وتطويرها وتكوينها ثم يقوم بتصنيفها من ناحية عدد طبقاتها ثم من ناحية تطبيقاتها.

والباب الثاني يتناول كيفية نقلُ صورةِ أو نمطِ أو شكل الموصلات والوسائد النحاسية مِنْ الفيلمَ الاصلي master film (ناتج عملية التصميم على الحاسب) إلى السطح النحاسي للوح المدعوم. حيث يتناول في هذا المضمار طريقتان شائعتان لنقل الصورةِ وهما: طريقة الطباعة الضوئية؛ وطريقة الطباعة بالشاشة.

أما الباب الثالث فيتناول عملية النقش وهى أحد الخطواتِ الرئيسيةِ في المعالجة الكيميائيةِ للوح الدائرة المطبوعة. حيث بهذه العملية، يتم انجاز النمط النحاسي النهائي بالإزالةِ الإنتقائيةِ لكُلّ النحاس الغير مرغوب لتبقى أنماطِ الدائرةِ المطلوبةِ. ثم يعرض بعض نظريات أجهزة وتكنولوجيات تطبيق مركبات الحفر المختلفة التركيب ومميزات كل منها.

الباب الرابع يتناول عملية الطلاء المعدني سواء الكهربائية أو الغير كهربائية موضحاً وظيفة هذا الطلاء المعدني في حماية السطح النحاسي للموصلات والوسائد وفي تحقيق صفة التوصيل بين الطبقات بعضها البعض عند نقاط التوصيل العبورية وذلك بطلاء جدرانها العازلة.

الباب الخامس يتناول كيفية تطبيق قناع لحام Solder mask لحِماية المسارِ النحاسيِ الغير مقصدر مِنْ التدمير أو التلوث الكيمياوي أوالاحتكاك الميكانيكي الذي قَدْ يَحْدثُ مِنْ فعل النقش أو مركب الحفر etchant، أو اللحام solder أَو التصفيح (الطلاء المعدني) plating.

على خلاف خطواتِ المعالجات الأخرى للوح الدائرة المطبوعة (الكيميائية مثلا)، نجد في الباب السادس أن أغلب العملياتِ الميكانيكيةِ تَتطلّبُ معالجة يدوية بالإضافة إلى الآلية. وتشمل هذه العملياتِ التخريم والتثقيب والقطع والتحزيز للوح التشغيل الذي يضم عدداً من ألواح الدوائر المطبوعة، حيث تمثل هذه العمليات قدراً ليس سهلاً من تكاليف المنتج النهائي.

وأخيراً أهدي هذا الكتاب لمن يبحث عن المعرفة وأشكر اسرتي الكريمة لما تحملته من غيابي عنها وتركيزي الذهني والفكري لإنهاء هذا الكتاب، كما اتوجه بالشكر لأبني المهندس محمد جابر السيد محمد الابيض بالشركة المصرية للإتصالات على مساعداته الخلاقة في إخراج هذا الكتاب.

د.جابر السيد الأبيض

الأستاذ المتفرغ

بكلية الهندسة الإلكترونية بمنوف

جامعة المنوفية

٤ مارس ٢٠١٤

Drelabyad@hotmail.com

المحتويات

اسم الكتاب	أ
رقم الإيداع	ت
أحب الناس	ج
تقديم	خ
محتويات الكتاب	ز
(١) أساسيات ألواح الدوائر المطبوعة Basics of Printed Circuit Boards	١
١-١ ربط العناصر في الأجهزةِ الإلكترونيةِ Connectivity in Electronic Equipment	٣
١-١-١ مميزات ألواح الدوائر المطبوعةِ Advantages of Printed Circuit Boards	٥
١-٢ تطورِ ألواح الدوائر المطبوعةِ Evolution of Printed Circuit Boards	٦
١-٣ مكوّناتِ ألواح الدوائر المطبوعة Components of a Printed Circuit Board	١١
١-٤ تصنيفِ ألواح الدوائر المطبوعة Classification of Printed Circuit Boards	١٢
١-٤-١ ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الجانب النحاسي Single-sided printed Circuit Boards	١٣
١-٤-٢ ألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي Double-sided Printed Circuit Boards	١٤
١-٤-٣ ألواح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات النحاسية Multi-layer Boards	١٧
١-٤-٤ ألواح الدوائر المطبوعة المتصلّبة والمرنة Rigid and Flexible Printed Circuit Boards	٢١
١-٥ أصنافِ ألواح الدائرة المطبوعة من ناحية التطبيق CLASSES OF PCB DESIGNS	٢١
١-٥-١ خصائصِ ألواح الدوائر المطبوعة التماثلية والراديوية والميكرويف	٢٢

Characteristics of Analog, RF, and Microwave PCBs
١-٥-٢ خصائصِ ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارة الرقمية ٢٧
Characteristics of Digital-Based PCBs
١-٦ طرقِ تثبيت العناصر بألواح الدوائر المطبوعة ٣١
METHODS OF ATTACHING COMPONENTS
١-٦-١ تثبيت من خلال الفتحة فقط Through-Hole Only ٣٣
١-٦-٢ تثبيت خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي ٣٣
Through-Hole Mixed with Surface-Mount
١-٦-٣ تثبيت سطحي على جانب واحد فقط ٣٣
Surface-Mount, One Side Only
١-٦-٤ تثبيت سطحي على كلا الجانبين ٣٤
Surface-Mount, Both Sides
١-٦-٥ تثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات ٣٤
Surface-Mount, Both Sides with Through-Hole
١-٧ أنواع أغلفة العناصر ٣٥
COMPONENT PACKAGE TYPES
١-٧-١ التغليف التقليدي Conventional packaging ٣٥
(Through-Hole Mount packages)
١-٧-٢ تغليف العناصر السطحية Surface Mount Devices ٣٧
١-٧-٣ التغليف ذو الخطوة الدقيقة Fine Pitch ٣٨
١-٧-٤ تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة COB ٤٠
١-٧-٤-١ التغليف الشريطي TAB ٤١
١-٧-٤-٢ الرقاقة المقلوبة Flip Chip ٤٢
١-٧-٤-٣ القالب العاري المربوط بالاسلاك Wire-Bonded Bare Die ٤٣
١-٧-٥ تغليف مصفوفة الكرات الشبكية BGA ٤٥

(٢) أساليب نقل وطباعة الصورة ٤٩
Image Transfer and print Techniques

٢-١ ماذا نعني بنقل الصورة ؟ ٥١

٢-٢ تجهيز سطح اللوح المدعوم Laminate Surface Preparation	٥٢
٢-٢-١ عملية التنظيف اليدويةِ	٥٢
٢-٢-١-١ التنظيف الكيميائي	٥٢
٢-٢-١-٢ تفكيك الدهون (إزالة الشحوم) بالبخار Vapour De-greasing	٥٤
٢-٢-٢ التنظيف الميكانيكي Mechanical Cleaning	٥٧
٢-٢-٢-١ التَلميع Polishing	٥٧
٢-٢-٢-٢ التَنظيف بالفرشاة Brushing	٥٨
٢-٢-٢-٣ الصَقْل أَو الصنفرة Buffing or Sanding	٥٩
٢-٢-٢-٤ إزالة الرايش حول الفتحات :deburring	٦٠
٢-٢-٢-٥ الحَكّ scrubbing	٦٠
٢-٢-٣ إختبار النظافةِ	٦١
٢-٣ الطِباعَة بالشاشةِ Screen Printing	٦٥
٢-٣-١ إطار الشاشةِ Screen Frame	٦٧
٢-٣-٢ قماش الشاشةِ	٧٢
٢-٣-٣ تحضير أو إعداد الشاشةِ	٧٤
٢-٣-٤ الممسحة Squeegees	٧٦
٢-٤ عملية نقل الشكل على الشاشة	٧٧
٢-٥ أحبار الطباعة Printing Inks	٨٣
٢-٥-١ الاحبار المُعَالَجَة بالأشعة الفوق بنفسجيةِ Ultraviolet Curing Inks	٨٤
٢-٦ عملية الطِباعَة	٨٥
٢-٦-١ عملية الطِباعَة بالشاشةِ يدوياً	٨٥
٢-٦-٢ عملية الطباعة بالشاشة آلياً أَو نصف آلية	٨٦
٢-٧ الطِباعَة الضوئية	٨٧
٢-٧-١ مقاوم الضوء السائل Liquid Photo-resist	٨٩
٢-٧-١-١ طرق توزيع الحساس السائل على سطح اللوح المدعوم	٩٠
٢-٧-١-٢ الحساس ذو التفعيل السالب وذو التفعيل الموجب	٩١

٢-٧-٢ الفيلم الجاف المقاوم للضوء	٩٦
٢-٧-٢-١ معالجة الفيلمُ الجاف المقاوم للضوء Processing of Dry Film Resist	٩٨
٢-٧-٢-٢ شروط المعالجة الجيدة لمنطقة العمل	١٠٥
٢-٨ نقل الصورة مباشرة بأشعة الليزر Laser Direct Imaging (LDI)	١٠٦
٢-٨-١ نظام الليزر	١٠٨
٢-٨-٢ النظام البصري The Optical System	١٠٨
٢-٨-٣ النظام الميكانيكي Mechanical System	١١٠
٢-٨-٤ نظام تشغيل البيانات Data Processing System	١١١
٢-٨-٥ منافعِ النقل المباشر للصورة بأشعةالليزر LDI	١١٢
(٣) أساليب النقش (الحفر – التنميش) Etching techniques	١١٧
٣-١ محاليل النقش والكيمياء ِ Etching Solutions and Chemistry	١١٩
٣-١-١ كلوريد الحديد Ferric Chloride	١٢٠
٣-١-٢ فوق أوكسيد الهيدروجينِ — حامض كبريتيك Hydrogen Peroxide — Sulphuric Acid	١٢٤
٣-١-٣ خليط حامض الكبريتيك والكروميك Chromic-Sulphuric Acid	١٢٥
٣-١-٤ كلوريد النحاس Cupric Chloride	١٢٦
٣-١-٥ فوق كبريتات الأمونيوم Ammonium Persulphate	١٣٠
٣-١-٦ كلوريد الأمونيومِ/النشادر القلوي Alkaline Ammoniacal /Ammonium Chloride	١٣٢
٣-٢ ترتيبات النقش Etching Arrangements	١٣٥
٣-٢-١ النقش الإنتاجي البسيط بالدفعةِ Simple Batch Production Etching	١٣٥
٣-٢-٢ نقش التغذية المستمرِ Continuous Feed Etching	١٣٦

٣-٢-٣ التجديد ذو الحلقةِ المفتوحة Open Loop Regeneration	١٣٨
٣-٢-٤ التجديد ذو الحلقةِ المُغلقة Closed Loop Regeneration	١٣٩
٣-٣ بارامترات النقش Etching Parameters	١٤٠
٣-٤ أجهزة وتكنولوجيات Equipment and Techniques	١٤٠
٣-٤-١ النقش بالغمرِ Immersion Etching	١٤١
٣-٤-٢ النقش بالفقاعة Bubble Etching	١٤٢
٣-٤-٣ النقش بالإثارةِ Splash Etching	١٤٣
٣-٤-٤ النقش بالرذاذِ Spray Etching	١٤٥
٣-٥ إختيارِ أجهزةِ الحفر Etching Equipment Selection	١٤٧
٣-٦ تَحسين إقتصادِ المركب الحفار Optimizing Etchant Economy	١٤٨
٣-٧ مشكلات في عملية النقش Problems in Etching	١٤٩
٣-٧-١ النقش الغير كافي أَو القطع الغير كافي Under-etching or Under-cut	١٤٩
٣-٧-٢ الطنف (بروز التعليق – الخطاف) Overhang	١٥١
٣-٨ تسهيلات لمنطقةِ النقش Facilities for Etching Area	١٥٢
٣-٩ النقش الكهروكيمياوي Electrochemical Etching:	١٥٢
٣-١٠ الحفر الميكانيكي Mechanical Etching	١٥٢
(٤) عمليات التصفيح (الطلاء المعدني) Plating processes	١٥٧
٤-١ ما هو الهدف من التصفيح	١٥٩
٤-٢ تصفيح النمطِ وتصفيح لوح التشغيل Pattern Plating and Panel Plating	١٦١
٤-٢-١ تصفيح النمطِ Pattern Plating	١٦٢
٤-٢-٢ تصفيح لوح التشغيل Panel Plating	١٦٦
٤-٣ جودة الماءِ للتنظيف وتكوين المحاليل Water Quality for Cleaning & Solutions	١٧٢

٤-٤ تكنولوجيا التصفيح Plating Technology	١٧٧
٤-٥ التصفيح أو الطلاء الكهربائي Electroplating	١٧٧
٤-٥-١ أساسيات الطلاء الكهربائي Electroplating basics	١٧٧
٤-٥-١-١ عمليةً الطلاء الكهربائي الاساسية The Basic Electroplating Process	١٧٩
٤-٥-١-٢ قانون فاراداي للتحليل الكهربائي Faraday's Laws of Electrolysis	١٨٠
٤-٥-١-٣ المعالجة المبدئية للطلاء الكهربائي	١٨٢
٤-٥-١-٤ الأقطاب الموجبة Anodes	١٨٢
٤-٥-١-٥ حقائب القطب الموجبِ Anode Bags	١٨٢
٤-٥-٢ الطلاء الكهربائي بالنحاس Copper Electroplating	١٨٣
٤-٥-٢-١ قدرة الرمي Throwing Power	١٨٦
٤-٥-٢-٢ تحقيق الإستواء في عملية التصفيح Levelling	١٨٩
٤-٥-٢-٣ مراحل طلاء ألواح الدوائرالمطبوعة بالنحاس كهربياً	١٩٠
٤-٥-٣ الطلاء الكهربائي بالقصدير Tin Electroplating	١٩٣
٤-٥-٤ الطلاء الكهربائي بسبيكةِ القصديروالرصاص Tin-Lead Alloy Plating or Solder Plating	١٩٥
٤-٥-٥ الطَلاء الكهربائي بالنيكلِ Nickel Electroplating	٢٠١
٤-٥-٦ الطَلاء الكهربائي بالذهبِ Gold Electroplating	٢٠٣
٤-٦ التصفيح (الطلاء) الغير كهربائي Electroless Plating	٢٠٥
٤-٦-١ خطوات عملية الطلاء الغير كهربائي (الكيميائي)	٢٠٨
٤-٦-٢ الطلاء الغير كهربائي بالنيكل Electroless Nickel Plating	٢١٥
٤-٦-٣ الطلاء الغير كهربائي بالذهب Electroless Gold Plating	٢١٥
٤-٧ التصفيح (الطلاء) بالغمس Immersion Plating	٢١٦
٤-٨ المشاكل العامة في التصفيح	٢١٨
٤-٩ العيوب الخاصة بالتصفيح	٢١٨
٤-٩-١ الفراغات Voids	٢١٨

٤-٩-٢ فتحة منتفخة Blow Holes ٢١٩
٤-٩-٣ انفجارات الغازات Out gassing ٢٢٠
٤-١٠ تكنولوجيات التصفيح (الطلاء) الخاصّةِ ٢٢٠
٤-١٠-١ تصفيح الثقوب الخلالية Through-hole Plating ٢٢٠
٤-١٠-٢ التصفيح الإنتقائي بنظام بكرة لبكرة ٢٢١
:Reel-to-Reel Selective Plating
٤-١٠-٣ التصفيح بالفرشاةِ Brush Plating: ٢٢٢
(التصفيح الانتقائي selective plating)
٤-١٠-٤ تصفيح (طلاء) الإصبعِ Finger Plating: ٢٢٤
٤-١٠-٥ الطلاء بالمعجونِ المعدنيِ الموصل ٢٢٥
:Conductor Metal Paste Coating
٤-١٠-٦ رش الفضة المختزلة Reduction Silver Spraying: ٢٢٥
٤-١١ التوزيع المعدني وسُمك التصفيح ٢٢٦
:Metal Distribution and Plating Thickness
٤-١١-١ تحليل المحلول (التحليل الكيميائي الرطب) ٢٢٦
٤-١١-٢ الإختبار الفيزيائي للمحاليل ٢٢٧
:Physical Tests for Solutions
٤-١١-٢-١ الكثافة Density : ٢٢٧
٤-١١-٢-٢ مقياس الحموضة والقلوية pH للمحلول ٢٢٨
٤-١١-٢-٣ المُعادل Buffer: ٢٢٩
٤-١١-٢-٤ الشَدّ السطحي Surface Tension : ٢٢٩
٤-١١-٢-٥ إختبار خليةِ الهيكلِ Hull Cell Test : ٢٣٠
٤-١١-٣ إختبار الترسيب الكهربائي ٢٣١
:Testing of Electrodeposits
٤-١١-٣-١ إختبار سُمكِ المعدن Metal Thickness Test: ٢٣٢
٤-١١-٣-٢ إختبار المساميةِ Porosity Test: ٢٣٤
٤-١١-٣-٣ إختبار الإلكتروجرافيك Electrographic ٢٣٤

٤-١١-٣-٤ إختبار الإلتصاقِ Adhesion	٢٣٥
٤-١١-٣-٥ إختبار قابلية اللحام Solderability	٢٣٥
٤-١٢ إعتبارات تخطيط ورشة الطلاء الكهربائي :	٢٣٥
٤-١٢-١ تخطيط ورشة الطلاء المعدني :	٢٣٨
٤-١٢-٢ الأجهزة	٢٤٠
٤-١٣ أنواع طرق صناعة ألواح الدوائر المطبوعة	٢٤١
:Types of PCB Manufacturing	
٤-١٣-١ معالجة المطروح Subtractive Processing	٢٤١
٤-١٣-٢ معالجة المضافِ Additive Processing:	٢٤٤
٤-١٣-٢-١ عملية كامل المضافِ Fully Additive Process:	٢٤٧
٤-١٣-٢-٢ عملية الشبه مضافِ Semi-additive Process:	٢٥٠
٤-١٣-٢-٣ عملية المضافِ بشكل جزئي	٢٥١
:Partially Additive Process	
(٥) قناع اللحام Solder Mask	٢٥٧
٥-١ مقدمة	٢٥٩
٥-٢ تصنيف مقاوم (قناع) اللحام	٢٦٠
Solder Resist Classification	
٥-٢-١ المقاوم المؤقت Temporary Resist	٢٦١
٥-٢-٢ المقاوم الدائم Permanent Resist	٢٦٢
٥-٢-٣ تطبيق قناعِ اللحامِ Solder Mask Application	٢٦٢
٥-٣ قناع اللحامِ ذو الفيلمِ السائلِ Liquid Film Solder Mask	٢٦٣
٥-٤ قناع اللحام ذو الفيلم الجافِ Dry Film Solder Masking	٢٦٤
٥-٤-١ التحضير السطحي	٢٦٤
٥-٤-٢ تَجفيف قَبْلَ تثبيت الطبقة Pre-lamination Drying	٢٦٥
٥-٤-٣ تثبيت الطبقة Lamination	٢٦٦
٥-٤-٤ إختيار عرضِ الفيلمِ Selection of Film Width	٢٦٦
٥-٤-٥ الانتظار فترة زمنية بعد تثبيت الطبقة	٢٦٦

Hold Time after Lamination
٥-٤-٦ التعرّض (من خلال الأدوات الفوتوغرافية) ٢٦٦
Exposure (Photo-tools)
٥-٤-٧ الإظهار Developing ٢٦٧
٥-٤-٨ التَجفيف ٢٦٨
٥-٤-٩ المُعَالَجَة Curing ٢٦٨
٥-٥ خصائص هامة لأقنعة اللحام ٢٧٠
٥-٥-١ درجة التحليل أو الوضوح Resolution ٢٧٠
٥-٥-٢ الكبسلة – التغليف Encapsulation ٢٧١
٥-٥-٣ طبوغرافيا السطح لسمك المقاوم ٢٧٢
Surface Topography Resist Thickness
٥-٥-٤ مساعدة التنسيبِ Placement Assistance ٢٧٢
٥-٥-٥ معولية قناعِ اللحامِ Reliability of Solder Mask ٢٧٣
٥-٥-٦ التلحيم والتنظيف ٢٧٤
٥-٥-٧ التخبيم على فتحات نقاط العبور Tenting of Vias ٢٧٤
٥-٦ قناع اللحامِ فوق النحاسِ العاريِ ٢٧٥
Solder Mask over Bare Copper [SMOBC]
٥-٧ الطلاء الإمتثالي Conformal Coating ٢٧٧
٥-٧-١ مواد الطلاء الإمتثالي ٢٧٩
٥-٧-١-١ طلاء الأكريليكِ الإمتثالي ٢٧٩
Acrylic Conformal Coatings
٥-٧-١-٢ طلاء الإبوكسي الإمتثاليEpoxy Conformal Coatings ٢٧٩
٥-٧-١-٣ طلاء البوليروثان Polyurethane Coatings ٢٨٠
٥-٧-١-٤ طـلاء السـيليكون الإمتثاليـة Silicone Conformal ٢٨٠
Coatings
٥-٧-٢ طرقِ تَطبيق الطلاء الإمتثالي ٢٨١
٥-٧-٢-١ الدهان بالغمر أو بالغمس أو بالتغطيس Dipping ٢٨١
٥-٧-٢-٢ الدهان بالرش Spraying ٢٨٢
٥-٧-٢-٣ الدهان بالفرشاة Brushing : ٢٨٣

(٦) العمليات الميكانيكية ٢٨٥
التثقيب، التخريم، التحزيز

٦-١ اهمية العملياتِ الميكانيكيةِ ٢٨٧
٦-٢ عمليات القطع Cutting Methods ٢٨٨
٦-٢-١ عملية القَصّ Shearing ٢٨٨
٦-٢-٢ عملية النشر Sawing ٢٩٠
٦-٢-٣ تفريغ ألواح الدوائر المطبوعة ٢٩٢
Blanking of PCBs
٦-٢-٤ عملية التفريز Milling ٢٩٥
٦-٢-٥ عملية التوجيه في ألواح الدوائر المطبوعة Routing of PCBs ٢٩٥
٦-٢-٥-١ توجيه الدبّوسِ Pin Routing ٢٩٦
٦-٢-٥-٢ توجيه المسار Tracer Routing ٢٩٨
٦-٢-٦ عملية التخريم Punching process ٢٩٩
٦-٢-٧ عملية التثقيب Drilling process ٣٠٣
٦-٢-٧-١ هندسة البنطة (أداة القطع الاسطوانية) وأهميتِها ٣٠٤
٦-٢-٧-٢ أنواعِ البنط ٣٠٧
٦-٢-٧-٣ فحص البنطة ٣٠٨
٦-٢-٧-٤ عمر الأداةِ وإعادة تجليخها ثانيةً (إعادة النقطة) ٣٠٩
Tool Life and Re-grinding (Re-pointing)
٦-٢-٧-٥ مقاسات البنط ٣١٠
٦-٢-٧-٦ متطلبات عند اجراء التثقيب ٣١١
٦-٢-٧-٧ سرعة الثقب، نِسَب الإنسحابَ والتغذية ٣١٢
٦-٣ نوعية أو جودة الفتحةِ Hole Quality ٣١٣
٦-٣-١ تعريف المصطلحات ٣١٣
٦-٣-٢ دخول وخروج البنطة من المواد الاحتياطية ٣١٤
Drill Entry and Exit (Back-up) Materials
٦-٣-٣ إستعمالِ وحدة دفع أو وحدة مهيئة للبنطة ٣١٦

Use of Drill Bush/Collar
٦-٣-٤ عملية التثقيب وأنواع الألواح المدعومة ٣١٧
Drilling and Types of Laminates
٦-٣-٥ أمثلةٍ من عيوب الفتحةِ المثقبة ٣١٨
٦-٣-٦ عيوب الاستخدام الغير ماهر للبنطة ٣٢٧
٦-٤ التثقيب بأشعة الليزر ٣٣٠
٦-٥ عمليتى الحز المحفور وتوجيه العروة ٣٣٤
Grove Score and Tab Routing
٦-٥-١ عملية توجيه العروة Tab Routing ٣٣٥
٦-٥-٢ تطبيقات التوجيه لنظام CNC ٣٣٥
٦-٥-٣ التشغيل المحكوم عددياً بالحاسب ٣٣٧
:Computer Numerical Controlled (CNC) Operation
٦-٥-٤ عملية الحز المحفور Grove Score ٣٣٨
٦-٥-٥ تطبيقِ التحزيز Scoring Application ٣٣٩
٦-٥-٦ التشغيل ٣٤٠
٦-٥-٦-١ التخديش Scribing ٣٤٠
٦-٥-٦-٢ ماكينات بقواطع قرصية للتحزيز ٣٤١
٦-٥-٦-٣ ماكينات بقواطع رأسية ٣٤٢
٦-٦ لوح التشغيل للدوائر المطبوعة PCB Panel ٣٤٤
٦-٦-١ طرق فصل أو فض لوح الدائرة المطبوعة من لوح التشغيل ٣٥١
:De-panelling methods
٦-٦-١-١ قطعْ أو كسر العروات Break-off tabs ٣٥٢

الملاحق ٣٥٧

الملحق رقم(١) المصطلحات العربية الفنية الواردة بالكتاب ٣٥٨

الباب الأول

أساسيات

ألواح الدوائر المطبوعة

Basics of Printed Circuit Boards

الباب الأول

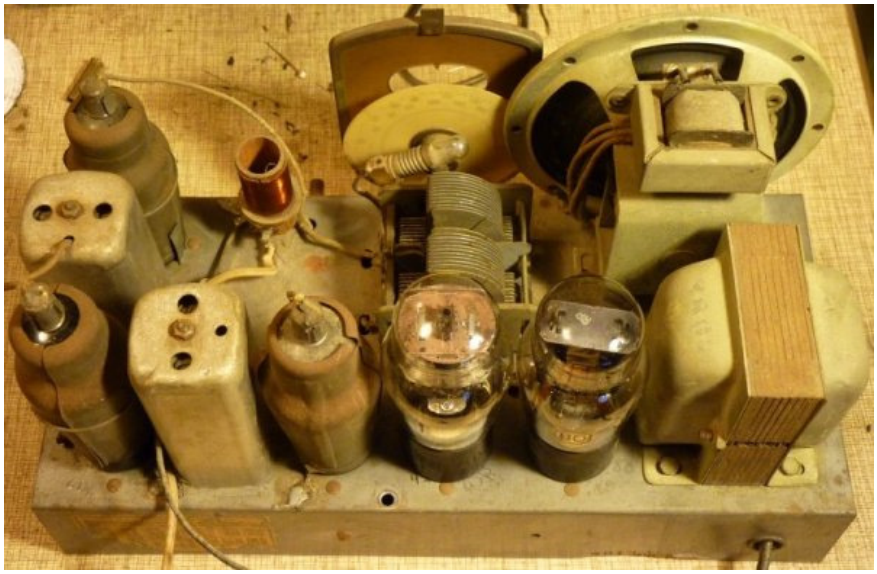
أساسيات ألواح الدوائر المطبوعة
Basics of Printed Circuit Boards

١-١ ربط العناصر في الأجهزةِ الإلكترونيةِ
Connectivity in Electronic Equipment:

الأجهزة الإلكترونية هى تركيبة من عناصر كهربائيةِ وإلكترونيةِ موصولة كهربياً لإنْتاج وظيفة معينة مُصَمَّمة عليها. في عصرِ الصمامات المفرغة vacuum tubes، بنيت الأجهزة الإلكترونية بتوزيع الاسلاك ولحامها من نقطة لنقطةِ يدوياً. وكان يستلزم ذلك تعرية اطراف الأسلاك من عوازِلِها، ثم دهانها بالقصدير لتسهيل عملية لحامها. وكان يتم تركيب كُل عنصر منفصل باليد، بشكل كهربائي وميكانيكي. حيث كانت الأجهزة ضخمةَ وصعبةَ وكبيرةَ جداً كما بالشكل رقم (١-١). مما أدى إلى صعوبَة في تَلْبِية المتطلباتِ المرغوبة لإستعمالِ هذه الأجهزةِ في الطائراتِ، وقطاع الصحةَ والإستعمالاتَ الطارئة بالمنازل، وبذلك استلزم الأمر تطوير الأجهزةِ الإلكترونية وضغطها للأصغرِ حجماً والاقل وزناً والأكثرِ تماسكاً.

حدث التطور الطبيعي في عِدّة مجالات. طُوّرتْ العناصر للأصغر وأصبحَ تصميم الوحدة أو النموذج modular محبباً، بشكل أساسي آل إلى خفض الزمن بين انهيار الوحدة واصلاحها نتيجة لسهولة إمكانية الاستبدال replaceability. إستعمال التصغيرِ والتصغيرِ الثانويِ في تصميمِ الأجهزةِ الإلكترونية أعطى ميلاد تكنولوجيا جديدة في توزيع الأسلاك والتجميع بينِ العنصر وما هو معروف ومحبب بألواح الدوائر المطبوعة. حيث تعطي ألواح الدوائر المطبوعةُ التركيب الطبيعي بكل من التثبيت ومسك العناصر الإلكترونيةِ بالإضافة إلى الترابطِ الكهربائيِ بينها.

جهاز راديو صمامات قديم



قمة هيكل (شاسيه) معدني مثبت عليه عناصر جهاز راديو الصمامات

قاع هيكل (شاسيه) معدني يوضح طريقة التوصيل السلكي بين عناصر جهاز راديو الصمامات

شكل (١-١) يوضح اسلوب التوصيل من نقطة لنقطة وضخامة الاجهزة القديمة

ويعرف لوح الدائرة المطبوعة عادة بالمختصر الانجليزي PCB للعبارة Printed Circuit Board وغالباً ما يدعو باسم اللوح فقط board ويعرف أيضاً بالمصطلح " لوح توزيع الاسلاك المنقوشة Etched wiring board ". على أية حال، في الولايات المتحدة الأمريكية، المختصر PWB شائع الاستعمال وهو مختصر العبارة Printed Wiring Board وهو المستعملُ في أغلب الأحيان عن المختصر PCB.

١-١-١ مميزات ألواح الدوائر المطبوعةِ
:Advantages of Printed Circuit Boards

هناك العديد مِنْ الأسبابِ الجيدةِ لإستعمال ألواح الدوائر المطبوعةِ بدلاً مِنْ طرق توزيع أسلاك ترابطِ أخرى واساليب تثبيت عناصر، البعض من هذه الاسباب يتضح فيما يلي:

١. حجمَ تجميع العناصر مخفّضُ مَع نقصان مماثل في الوزنِ والقدرة الكهربائية.
٢. الأنتاج على نطاق واسع يُمْكِنُ أَنْ يُنجَزَ في حيز تكلفة الوحدة الإنتاجيةِ الأقل.
٣. توزيع الأسلاك وتجميع العناصر يُمْكِنُ أَنْ ينفذ بطريقة آلية.
٤. خصائص الدائرةِ يُمْكِنُ أَنْ تُبقي بدون تغير في سعة الدائرة.

٥. تضمن المستوى العالي لإمكانية التكرار repeatability وتقدم تماثل الخصائصِ الكهربائيةِ مِنْ تجميع إلى تجميع.
٦. موقعَ الأجزاءِ ثابتُ، وهذا يعمل على تبسّيطُ تعريفَ وصيانةَ الاجهزة والأنظمة الإلكترونيةِ.
٧. خفض زمن الفحص لأن الدوائر المطبوعةَ أسقطت وتخلصت من قدر كبير من إحتمالية الخطأِ.
٨. يَتطلّبُ من مصمم توزيع أسلاك الدائرة المطبوعة مهاراتِ وتدريب تكنولوجي أقل ما يمكنِ.
٩. احتمالات التوزيع الرديء للاسلاك miswiring أَو توزيع أسلاك بها قصر دائرة short-circuit قليل جداً.

١-٢ تطورِ ألواح الدوائر المطبوعةِ
Evolution of Printed Circuit Boards:

تاريخ تطويرِ ألواح الدوائر المطبوعةِ لَيسَ قديماً جداً. فقد كانت في الإستخدام التجاري فقط منذ أوائِل الخمسيناتِ، بالرغم من أنَّ مفهومها نَشأَ تقريباً منذ ٥٠ سنةَ قبل الإستعمال التجاري لها.

فرانك سبراجيو Frank Sprague، مؤسس مجموعة Sprague Electric ، بينما كان يمتهن الصناعة، كَانت لديه الفكرةُ، في عام ١٩٠٤، وهى الفترة التي ازيلت فيها توزيع الأسلاك باسلوب نقطة بنقطةِ point-to-point wiring. عندما تَشاورَ مع ناصحِه المخلص، توماس إديسون Thomas Edison، لكيفية تَطبيق مفهومه، حيث إقترحَ بأنّ التخفيضِ (الأختزال–reduction) الفضّيِ، كما هو مستعمل في صناعة المرآة أَو طِباعَة معاجينِ الجرافايتِ على الورق الكتّاني، قَدْ يبرهن على أن يَكُونَ مناسبَ لإنْجاز ما هو ذو علاقة بالهدف المقصود. بعد ذلك، قدمت عدد مِنْ الجهود الرائدة لتطويرِ ألواح الدائرةِ المطبوعةِ، أدت إلى الأحداثِ التاليةِ لتَحتلُّ مكانَ السمو.

المساهمة الأولى الهامّة جاءتْ مِنْ السيد تشارلز دوكاس Charles Ducas، الذي سجل تطبيق ابتكاري في مكتب براءات الإختراع الأمريكية في ٢ مارس/آذار عام ١٩٢٥ بإقتراحِه لتثبيت الترسيبات المعدنيةِ الكهربائيةِ في شكل موصلات مباشرةً على مادّةِ العزلَ لتَبْسيط بناءِ الجهاز الكهربائيِ (Fjelstad، 2001). حيث إستعملَ ستينسل stencil (شريحة رقيقة من المعدن أو الورق المقوى أو المشمع بها فتحات على شكل حروف أو رسومات مطلوب طباعتها) لتَشكيل الموصلات على سطحِ المادة العازلة وقام بتطبيق معجون موصّل في الخطوطِ المرغوبة. بعد إزالةِ

الإستينسلِ، تكون بذلك قد عززت الخطوط إلى السُمكِ المطلوبِ بالترسيب المعدنيِ الأليكتروليتيِ. هذا التطويرِ تم تبسيطه بشكل اعتباري لصناعةُ الاجهزة الكهربائيةِ إلى حدٍّ كبير لأن ترسيب المعدنَ الأليكتروليتيَ، الذي يعتبر عملية بسيطة، يُمْكِنُ أَنْ يُنفّذَ مِن قِبل مشغلين غير مهرةِ.

فقط ١٧ يوم بعد ذلك، سجل السّيد فرانسيز هارمن Francis T. Harmann براءة إختراع لما يسمّى بالطريقةِ المطروحةِ subtractive method لعمل ألواح الدوائر المطبوعة PCBs. حيث أعتبر هذا التطوير مقدمة لتكنولوجيا الحفر الكيميائي etching technology. في أبريل/نيسان ١٩٢٦، منحت براءة إختراع إلى السّيدِ قيصر باسوليني Cesar Pasolini في فرنسا لإختراعِه للطريقة المضافة additive way لعمل التوصيلات الكهربائيةِ electrical connections. كما سجل السّيدُ صموئيل تشارلز Samuel Charles Ryder براءة إختراع إسترالية في سبتمبر/أيلول ١٩٢٨، تتَعلّقَ بصناعةِ ملفات الحث الكهربائيةِ للإستعمالِ في عناصر تنغيم الراديو أَو أى اجهزة أخرى مثل هذه التطبيقاتِ. حيث إقترحَ طِباعَة أَو رَشّ الطبقة التحتية substrate بشكل مباشر بالطلاءِ الموصّلِ أثناء الصناعةِ. وبنفس الطريقة، تم تسجيل تطبيق آخر مِن قِبل السّيدِ هيربيرت Herbert C. Arlt في يوليو/تموزِ ١٩٣٥ في أمريكا حيث أَكّد هذا التطبيق تجنّب الأسلاكِ ثانيةً كغرض أساسي للتطويرِ.

المساهمة الرئيسية نحو تطويرِ تكنولوجيا الدائرةِ المطبوعةِ الحديثةِ تمت مِن قِبل الدّكتورِ بول إسلر Dr. Paul Eisler، الذي إقترحَ مادّةَ عزلِ ذات قشرة نحاسيةِ في شكلِ شريحة للإستعمالِ كمادّة أساسية في صناعةِ ألواح الدائرة. طبقاً لما ذكر، " يتم طباعة مادة مقاومة للضوء بشكلِ نمطِ الدائرةَ على سطحِ القشرة cladding النحاسية وازالة المعدنِ الغير مغطّى بعملية حفر كيميائية واحدة ". إقترحَ أيضاً توليد الموصلات على كلا الجانبين من المادة الاساسية ذات القشرة النحاسية، حيث يتم التوصيل بين الموصلات على كلا الجانبينِ من خلال البرشام eyelets. طريقة Eisler هذه لا تعطي فقط ميلاد لطريقة الانتاج الشاملِ mass production ومخططِ للتجميع assembly scheme لكن أيضاً عَرضاً إقتصادَياً في الوزنِ والفراغ، الذي يصبح مهمُ خصوصاً في الأجهزةِ العسكريةِ. فلا عجب أن الدّكتور Eisler في أغلب الأحيان لقب بأبو تكنولوجيا ألواح الدائرة المطبوعةِ. على أية حال، أعطىَ التفضيلَ إلى إستعمالِ البرشام eyelets بدلاً مِنْ تكنولوجيا الطلاء خلال الفتحات plated-through hole technology، التي، أصبحت مع الزمن، عمليةَ

ضرورية لصناعةِ ألواح الدوائر المطبوعة الثنائية والمتعددةِ الطبقات، الشكل رقم (١-٢) يوضح راديو إسلر التاريخي.

شكل رقم (١-٢) يوضح راديو الدّكتورِ بول إسلر

قرب نهايةِ الحرب العالمية الثانيةِ، طوّرتْ التكنولوجيا بواسطة المكتبِ الوطنيِ الأمريكيِ للمقاييس the US National Bureau of Standards الذي كان مستعملاً في الإنتاجِ الكمي لمصهرات الادماج لصواريخ الجيشِ الأمريكي. على خلاف اسلوب الطباعة والحفر الكيميائي لـ Eisler، إستعملتْ هذه التكنولوجيا موصلات من معجونِ الفضة مطبوعة ومقاوماتِ جرافيتِ تلك التي كانت مطبوعة بواسطة الشاشة على البنية التحتية substrate من السيراميك. هذه التكنولوجيا عموماً إرتبطَت أكثر بتكنولوجيا دائرةِ اليومِ الهجينيةِ hybrid circuit technology. وقد كَانتْ هذه التكنولوجيا المفتاح للإستعمالَ التجاريَ للدوائر المطبوعة.

بعد الحرب العالمية الثانيةِ، اخذت بعض التَطَوّرات السَاحِرة موقعها في حقلِ الإلكترونياتِ، كنتيجة للمطلب العالي للمنتجات الإستهلاكية مثل الراديو والتلفزيونِ وبشكل آني، إستعمال الإلكترونياتِ

للتطبيقاتِ العسكريةِ. هذه التَطَوّراتِ أدتْ إلى الحاجة لألواح الدوائر الإلكترونيةِ الموثوقةِ مع زيَادَة التعقيدِ. بعد إنْجاز مستوى الكثافةِ القصوى، المستند على تقييدات الصناعةِ المُعاصرةِ، ألواح أحادية الجانب إستبدلتْ بالألواحِ ثنائية الجانب، التي سَمحتْ للأسلاكِ لعبور بعضها فوق بعض دون الحاجةِ لوصلات القفز الخاصّةِ الإضافيةِ. هذه أُنجزتْ أخيراً بواسطة الطلاء خلال الفتحاتِ.

أثناء الفترة من عام ١٩٥٣ إلى عام ١٩٥٥، قدّمَت شركة موتورولا عملية التصفيح أو الطلاء المعدني metal plating process النحاسي لتعطي الترابطِ بين جانبي اللوح، اللذان وُجِدا لِكي يَكُونا أكثرَ مناسبة لعملية التصنيع الشاملة. في الستّيناتِ، قُدّمتْ طريقة الطلاء (التصفيح) الغير كهربائية (الكيميائية) electroless plating بإستعمال منشّطات التحفّيزِ catalyst activators، بينما طوّرت شركة Photo Circuits، بالولايات المتحدة الأمريكية، عمليةَ الاضافِة additive process بالكامل في عام ١٩٦٤. في هذه الطريقةِ، اصبحت المادّة الأساسية base material ليس عليها نحاس والنحاس تم طلائه بشكل اختياري على الأماكنِ المطلوبةِ للترابطِ.

شَهدتْ أواخر الستّيناتِ نمو هائلَ في مجال الأجهزة الإلكترونية الإستهلاكيةِ، التي إستوجبتْ مقدمةُ الأتمتةِ في الصناعةِ وفي إختبار اللوح العَارِي/ألواح الدوائر المؤهلة. وسرعان ما طوقت في السبعيناتِ، وبحزم ألواح الدوائر المطبوعة في الأجهزة الالكترونية والعلمية والاستهلاكية، والأجهزة الطبية والجوية والفضائية، والدفاع، وتقريباً كُلّ فروع الإلكترونياتِ، التي توّجتْ لاحقاً بصناعةِ الحاسبات الشخصيةِ. هناك عدد من العمليات طُوّرتْ بعد ذلك لتطبيقاتِ مثل تصفيحِ أو تثبيت الفيلمِ الفوتوغرافيِ photo film lamination ، ومقاوم الفيلم الجاف dry film resist ومقاوم الفيلم الرطب wet film resist، وقناع اللحام solder masking ، طِباعَة النقش legend printing والثقب بواسطة ماكينات التحكم العددي CNC drilling،.. الخ. حجم أو مقاس الألواح المطبوعةِ أصبح مخفّض إلى حدٍّ كبير بصناعةِ ألواح الدوائر متعددة الطبقات المتصلبة – المرنةَ التي تستعملَ نقاط العبور vias المدفونة buried والمستورة blind ذات التوصيل من خلال طلاء الفتحات خلال إتّصالِ الفتحةِ وكيمياءَ عمليةِ الترطيب wet process chemistry.

مما لاشك فيه أن ظهور تطورات جديدة في تكنولوجيا العناصر، خصوصاً في مجال تكنولوجيا التثبيت السطحي nt technology–surface mou، قد أدّى إلى عِدّة إبداعات في موادِ وعملياتِ

ألواح الدوائر المطبوعة PCB، مما أدى إلى تقلص أحجام الاجهزة الالكترونية إلى أحجام صغيرة جداً حيث اليوم يوضع جهاز الراديو بوظائف وكفاءات تفوق أجهزة الماضي في الجيب كما هو موضح في الشكل رقم (١-٣) . واليوم هناك ضغوط ثابتة للتحسين في تكنولوجيا ألواح الدوائر المطبوعة PCB في كُلّ سماتِها. إنّ الإتجاهَ المستمرَ نحو التوظيف العالي لعناصر الدوائر التكامليةِ (IC) بدبابيس المدخلات والمخرجاتِ الأعلى (I/O) لأغلفة الدوائر التكامليةِ IC أدّتْ إلى المطلبِ المتزايدِ للتحسين الدقيق لألواح الدوائر المطبوعة PCBs، معطية ارتفاع إلى "تركيبات ذات كثافةَ توصيلات عاليةَ high density interconnect structures (HDIS)" والتي تُصْنعُ الآن مِن قِبل عدد كبير مِنْ الشركاتِ. النظم الإلكترونيةِ عالية التردد، بتشغيلاتها عالية السرعة، ترفع مطلب الحاجة لألواح الدوائر المطبوعة PCBs بفقد كهربائيٍ أقل. بالإضافة، جهود التشغيل الأعلى تتطلب من ناحية أخرى ألواح دوائر مطبوعة PCBs بمقاومةِ أعظمِ لإنهيار الجهد voltage breakdown، ولمراقبة الجهد العالي high voltage tracking وهالة التفريغ عند الجهود العالية corona .

شكل رقم (١-٣) يوضح تطور أجهزة الراديو إلى الصور المصغرة الموضحة بالشكل

تشكل ألواح الدوائر المطبوعة PCBs مكوّن إستراتيجي مهم جداً للمُنتَجاتِ الإلكترونيةِ. فهى لذا ليست من المفاجأة ان صناعة ألواح الدوائر المطبوعة PCB حول العالم تعتبر سوقاً تَزدهرُ، حيث تم رصد معدل نمو سنوي بنسبة ٧ في المائة كان متوقّعاً لهذه الصناعة حتى عام ٢٠١٠. لذا، فإن الدوائرَ المطبوعة من المحتمل أَنْ تَستمرَّ لِكي تكُونَ أيقونةَ الصناعةِ الإلكترونية خلال العقد التالي، حيث سيجْلبُ بالطبع، الوظيفة الأعلى/الكثافة، وتحَسّينَ التكلفةً والوثوقيةَ خلال عمليات تكلفة فعالة

محكومة. في الطرقِ المطروحةِ subtractive، النحاس الغير مرغوب يُزالُ من لوح البنية التحتية ذو القشرة النحاسية ويتَرْك فقط النمطِ النحاسيِ الموصل المطلوب. في طرقِ المضافِ additive ، يتم طلاء النمط النحاسي الموصل فقط على لوح البنية التحتية العاري باستخدام عملية معقّدة. فائدةَ طريقةِ المضافَ هو أنّها تحتاج أقل مادّة نحاسية وتنتج أقل نفاية نحاسية. يُمْكِنُنا أيضاً أَنْ نَتوقّعَ زيادةَ في إستعمالِ الدوائرِ المرنةِ flexible circuits والتحرّك نحو ألواح دوائر مطبوعة PCBs مُناسِبة للبيئةَ أكثرَ بدون استخدام الرصاص. بشكل متوقع، الأنواع المُخْتَلِفة لألواح الدوائر المطبوعة، كلها موجودة حالياً وتلك المتطوّرة، سَتحتفظُ بوظائفها كجزء أساسي مِنْ إلكترونياتِ، وفي بَعْض الحالاتِ، قَدْ يُنجزُ حتى أكثر الاماكن أهمّية في صناعةِ الإلكترونياتَ.

١-٣ مكوّناتِ ألواح الدوائر المطبوعة Components of a Printed Circuit Board:

من المكوّناتَ الضروريةَ للوح الدائرة المطبوعة:

- القاعدةَ (الاساس) The base ، حيث أنها عبارة عن لوح رفيع من مادة عازلة مرنةِ أو متصلبة، التي تَدْعمُ كُلّ الموصلات والعناصر؛ و
- الموصلات The conductors ، عادة مِنْ النحاسِ عالي النقاء على شكل أشرطةِ رقيقةِ ذات اشكال ملائمةِ رَبطتْ بحزم بالمادّةِ الأساسيةِ.

تعطي **القاعدةُ** الدعمَ الميكانيكيَ إلى كُلّ المناطق النحاسية وكُلّ العناصر المرَبوطة بالنحاس. تَعتمدُ الخصائص الكهربائيةُ للدائرةِ الكاملة على خصائص العزل للمادّة الأساسية base material ويَجِبُ لذا، أن تكُونُ معروفةَ ومسيطر عليهاَ بشكل ملائم.

تزوّدُ **الموصلات** لَيس فقط التوصيلات الكهربائيةَ (المسارات) بين العناصر الالكترونية لكن أيضاً هى عبارة عن نقاط ربط قابلة للحام لنفس الغرض (الوسائد).

عندما يزوّدُ اللوح الكامَل دعماً ميكانيكياً وكُلّ التوصيلات الكهربائية الضرورية إلى العناصر، فإنه جوهرياً لوح توزيع أسلاك مطبوع Printed Wiring Board أَو لوح دائرة مطبوعة Printed Circuit Board. التعبير "مطبوع printed" أصبح محبب لأن المناطقَ الموصّلةَ تكون عادة

مولدة بواسطة عملية الطِباعَة مثل طِباعَة الشاشةِ screen printing أَو الحفر الضوئي photo-engraving ، الذي يكون عموماً مستخدم لطِباعَة الرسومِ أَو النقوش.

١-٤ تصنيفِ ألواح الدوائر المطبوعة
Classification of Printed Circuit Boards:

قَدْ تُصنّفُ ألواح الدوائر المطبوعة طبقاً لخواصِها المُخْتَلِفةِ، وفي أغلب الأحيان بسمات أو صفات غامضة. وقد تم تقسيمها بشكل تقليدي إلى ثلاثة أصنافِ طبقاً لإستعمالاتها وتطبيقاتِها، وهى المنسوبة عموماً للمستهلكِ، ثم الاحترافية والثقةِ العالية.

ألواح الدوائر المطبوعة PCBs الاستهلاكية إستعملت عموماً في المنتجات الإستهلاكية مثل الراديو، والتلفزيون، وأجهزة الاختبار والقياس الرخيصة. حيث تستعمل مادّة أساسية أقل غلاءً وتفاوت أكبر مسموح به للصناعةِ للإبْقاء على مستوى التكلفةَ منخفضاً. ويجدر بالذكر أن الأهمية الأكبر في هذه المنتجات الاستهلاكية لَمْ تكن تُعطي للخصائص الكهربائية الجيدة والثابتة.

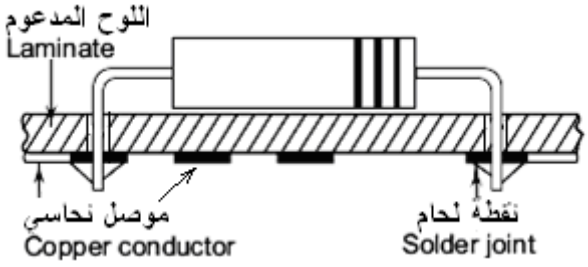
الألواح المحترفة صُنِعتْ من المادّةِ الممتازةِ والأفضلِ لإنْجاز مواصفات كهربائيةِ وبيئيةِ أشدِّ بإستعمال اساليب صناعيةِ محكومة. الالواح ذات الثقة الأعلى، عادة مستعملة في التطبيقاتِ الإستراتيجيةِ، والمقصود هنا إعطاء أفضل الخصائص الكهربائيةَ خلال الإستعمالِ لمادّةِ أساسيةِ عالية الجودة وعملياتِ تصنيع مسيطر عليها باحكام.

التصنيف أعلاه كَانَ يمكنُ أَنْ يَكُونَ قبل إثنان أوثلاثة عقود قابلة للتطبيقَ، لكن في الوقت الحاضر، التمييز بين التسويق الإستهلاكي والإحترافي قد إختفي. فإن العديد مِنْ المنتجات الإستهلاكية مثل الأقراصِ المضغوطةِ compact discs أو آلات تصوير فيديو نقّالةِ camcorders أَو آلاتِ تصوير cameras أَصْبَحت أكثر تعقيداً وموثوقة ومطَلَوبة عنْ ما إعتبرَ حتى الآن كأجهزة محترفة مثل الحاسبات الشخصية. وصول تكنولوجيا وتَطَوّراتِ التثبيت السطحي في تقنياتِ التجميع الآلي تَتطلّبُ بأنّ تكون الألواحَ حتى لأرخص المُنتَجات يجب أنْ تكون مصْنَعة بتفاوت ميكانيكي صارم.

هناك تصنيف بسيط وأكثر فهماً يُستَعملُ الآن، حيث تم تأسيسه على أساس عددِ المستويات planes أَو طبقات layers توزيع الأسلاك، التي تشكّل التجميع أَو التركيبات لتوزيع الأسلاك الكليّةِ، وإلى حضور أَو غياب الطلاء خلال الفتحات plated-through holes. طريقةِ التَصنيف هذه للألواحِ فائدتها هو إنتسابها مباشرة إلى مواصفاتِ اللوح. الإنشاءات المُمَيِّزة المهمة لألواح الدائرة المطبوعة PCBs ستقرأه مُفصّلاً فيما بعد .

١-٤-١ ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الجانب النحاسي Single-sided printed Circuit Boards:

أحادية الجانب النحاسي 'Single-sided' تعني أن توزيع الاسلاك متوفر فقط على جانبِ واحد من البنية التحتية العازلة. الجانب الذي يَحتوي نمطُ الدائرةَ يُدْعَى ' جانب اللحام solder side' بينما الجانب الآخر يُدْعَى 'جانب العناصر component side'. هذه الأنواعِ مِنْ الألواحِ تَستعملُ في الغالب في حالة مجموعة الدوائر البسيطة وحيث تكلفة التصنيع سَتصْبَحُ باقية عند حَدّ أدنى. على الرغم من هذا، فهى تمثل حجم كبير من الألواحِ المطبوعةِ التي تنتج حالياً للدرجات المحترفة والغير محترفة professional and non-professional grades . الشكل رقم ١-٤ يوضح ترتيبَ لوح أحادي الجانب single-sided board .



شكل رقم (١-٤) يوضح لوح الدائرة المطبوعة أحادي الجانب النحاسي

وتصنع الألواحَ أحادية الجانب في الغالب بواسطة طريقة ' الطبع والحْفر الكيميائي print and etch' أَو بواسطة اسلوب ' القطع بالكفة die cut' بإستعمال كفة تحْملُ صورةَ نمطِ توزيع الأسلاك؛ والكفة أمّا أن تكون محفورة ضوئياً photoengraved أَو محفورة بالماكينة machine-engraved .

عادة، تُستَعملُ عناصر للقَفْز فوق مساراتِ الموصلات، لكن إذا كانت غير ممكنة، فإن الاسلاك القافزة تكون مستخدمة. عدد أسلاكِ القفز على اللوح لا يُمْكن أنْ يقْبَلَ ما بعد عدد صغير نتيجة للأسبابِ الإقتصاديةِ، ويُؤدّي هذا إلى متطلبِ الألواحِ ثنائيةِ الجانب.

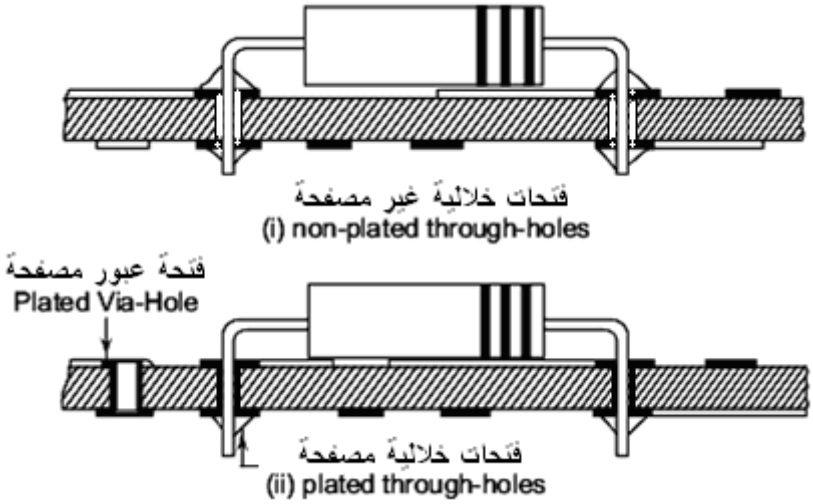
١-٤-٢ ألواح الدوائر المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي Double-sided Printed Circuit Boards:

ألواح الدوائر المطبوعة ' ثنائية الجانب" لديها توزيع أسلاك الأنماطِ على كلا جانبي مادّةِ العَزْل، وبمعنى آخر: نمطَ الدائرةَ متوفرُ لكلاهما على جانبِ العناصر وعلى جانبَ اللحام. من الواضح، أن كثافة العناصر وخطوط الموصلات أعلى مِنْ ألواحِ الدوائر أحادية الجانب. هناك إثنان مِنْ أنواعِ الألواح ثنائية الجانب تَستعملُ عموماً، وهى:

- لوح ثنائي الجانب مع توصيل الفتحة الخلالية المطلية plated through-hole connection (PTH)؛ و
- لوح ثنائي الجانب مع توصيل الفتحة الخلالية الغير مطلية without plated through-hole connection (non-PTH).

الشكل رقم ١-٥ (a) يوضح التفاصيلَ البنائيةَ لكل مِنْ نوعى الألواحِ الثنائيةِ الجانب.

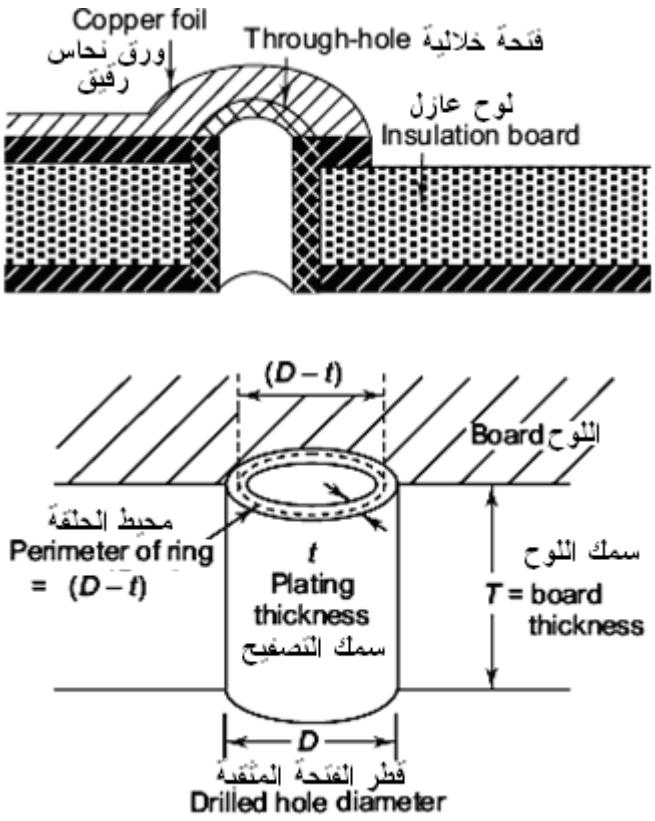
اللوح الثنائي الجانب ذو الفتحات الخلالية المطلية PTH لَديه مجموعةُ دوائر على كل من جانبي البنية التحتية العازلة، اللذان يكونا مُرتَبِطان بواسطة تعدين حوائط الفتحة في البنية التحتية حيث تتقاطع مع مجموعة الدوائر على كلا الجانبين. هذه التكنولوجيا، التي تعتبر القاعدةُ لأكثر الدوائرِ المطبوعةِ المنتجة، تُصبحُ محببة في الحالاتِ حيثما كان تعقيد وكثافة الدائرةَ عالي. الشكل رقم ١-٥ (b) يوضح ترتيبَ الفتحة الخلالية مطلية الحوائط plated through-hole في لوح الدائرة المطبوعة.



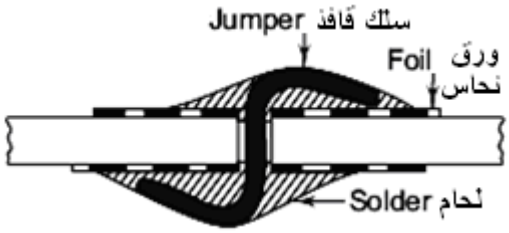
شكل رقم (١-٥ (a)) يوضح لوح الدائرة المطبوعة ثنائية الجانب النحاسي

اللوح ثنائي الجانب بدون طلاء للفتحات الخلالية non-PTH هو فقط إمتدادُ للوح أحادي الجانب. تكلفته أقل إلى حدٍّ كبير لأن تصفيح الفتحات تم تجنبه. في هذه الحالةِ، يتم التوصيل بواسطة لحام اطراف العنصر عند وسادتين متقابلتين على كلا جانبي اللوح، أينما كانت مطلوبة. في تصميم تخطيطَ مثل هذه الألواحِ، نجد أن عدد نقاط اللحامِ على جانب العناصر يَجِبُ أَنْ يُلتَزمَ بحَدّ أدنى لتَسهيل إزالةِ العناصر، إذا كان مطلوب. وعموماً يُوصي بأنّ تكون أغلب مسارات التوصيل بقدر المستطاع على الجانب الأقل عناصر (جانب المسارات) وفقط باقي المسارات الموصلة تَوْضَعَ على جانبِ العناصر.

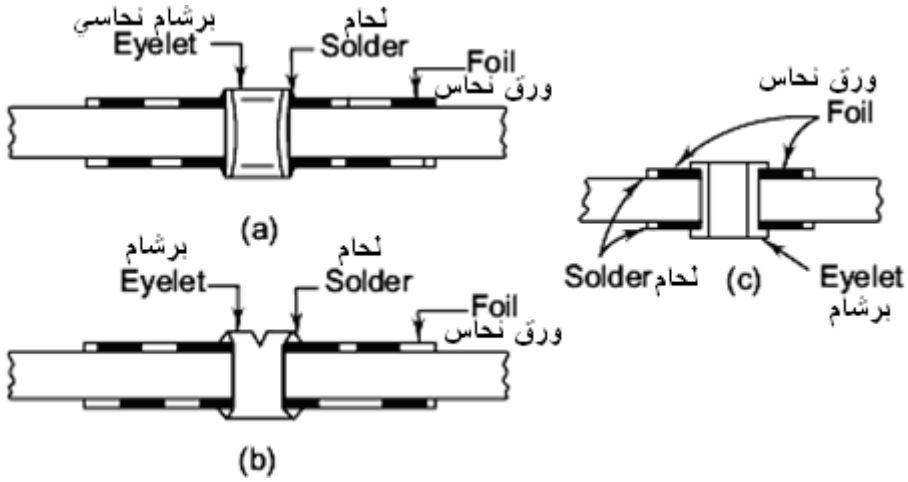
إنّ تكنولوجيا الفتحات بدون تصفيح non-plating technique في الألواحِ ثنائيةِ الجانب النحاسي يتم علاجها كما هو موضح في الشكل رقمِ ١-٦ عن طريق الترابط بواسطة السلك القافز. حيث يتم وضع سلكَ حر مصمت عريان مشكل خلال الفتحة العبورية، ويتم تثبيته ولحامه إلى وسادةِ موصلة على كُلّ جانب من جانبى اللوح (ثقب عبور). وهناك أنواع مختلفة من مسامير البرشام تَستعملُ أيضاً لترابطِ اللوح ثنائيِ الجانب مثل : برشام ذو حافة قُمعية funnel-flanged eyelet (a) ، وبرشام ذو حافة قمعية مشقوقة split funnel-flanged eyelet (b) ، وبرشام ينصهر مكانه fused-in-place eyelet (c) . هذا موضح في الشكل رقمِ ١-٧.



شكل رقم (١-٥ (b)) يوضح ترتيب الفتحة الخلالية المطلية plated through-hole



شكل رقم (١-٦) يوضح توصيل عبوري بين وسادتين كلاهما على جانبي اللوح

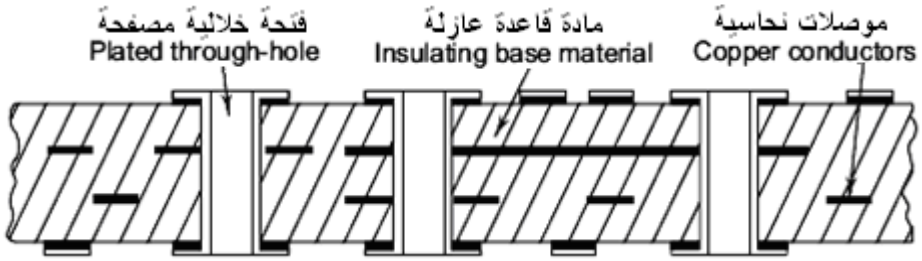


شكل رقم (١-٧) يوضح أنواع مختلفة من مسامير البرشام المستعملة لربطِ جانبي اللوح الثنائي

١-٤-٣ ألواح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات النحاسية Multi-layer Boards:

تطوير تكنولوجيا الفتحات الخلالية المطلية plated through-hole technology أدّى إلى تخفيض كبير في موصلات العبور على المستويات المختلفةِ، وأدى إلى تخفيض في متطلباتِ المساحة وكثافة التغليف المتزايدِة للعناصر الإلكترونيةِ. على أية حال، تكنولوجيا الدوائر المتكاملة ذات التدريج الكبير جداً VLSI الحديثة وعناصر ترتيب الدبابيس المتعدّدة الأخرى عملت على الزيادة بشكل هائل في كثافة التغليف وبناء على ذلك التركيز على خطوط التوصيل الخارجية.

وقد سبّبَ هذا ظهور مشاكلِ التصميمِ المعقّدة مثل الضوضاءِ noise ، وتداخل الحديث cross-talk، وظهور السعة الضالّة أو الشاردة stray capacitances واسقاط الجهد الغير مقبول نتيجة لخطوطَ الاشارة المتوازية. هذه المشاكلِ لا يُمْكن أنْ تُحْلَّ بشكل مرضي في الألواحِ الوحيدةِ أَو الثنائيةِ الجانب، وعلى ذلك يَستلزمُ استخدام الألواح المتعددةِ الطبقات. اللوح المتعدد الطبقات، المستعملَ في حالاتِ كثافة التوصيلات المطلوبة العالية جداً أحسن من أن يعالجَ باستخدام لوح ذو طبقتين أَو حيثما كان هناك أسباب أخرى مثل السيطرةِ الدقيقةِ لممانعات الخَطِّ الكهربائيةِ أَو لفحص فرعة الأرضي.



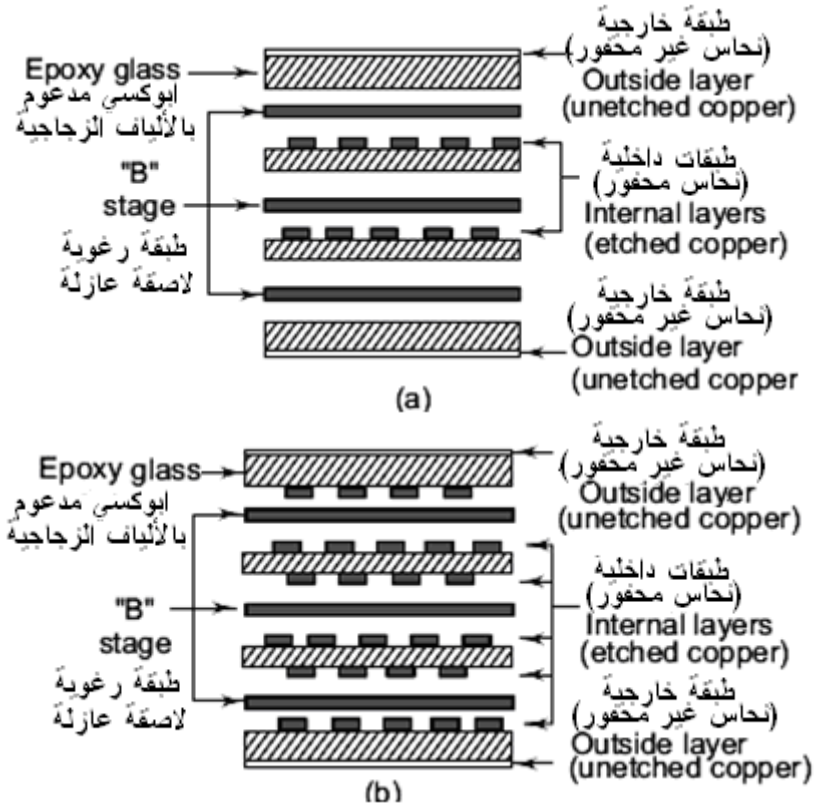
شكل رقم (١–٨) يوضح قطاع في لوح دائرة مطبوعة بأربعة طبقات

يستعمل اللوح المتعدد الطبقات أكثر مِنْ لوحى دائرة مطبوعة مَع طبقات رفيعة والمعرفة بالمادّةِ الرغوية اللاصقة 'prepreg' حيث توضع بين كُلّ طبقة وأخرى، فيأخذ التجميع شكل السندويتشِ كما هو مبين في الشكل رقمِ(١–٨). إنّ الدائرةَ المطبوعةَ على لوح القمة مشابهة لتجميع لوح الدائرة المطبوعة التقليدية ماعدا أن العناصر يتم وضعها أكثر قرباً لتجنب إمتِلاك العديد مِنْ الطرفيات، التي تستوجبُ إستعمالَ طبقات لوح إضافية للترابطِ المطلوبِ. الدائرة الكهربائية تصبح مكتملة بالرَبْط الداخلي للطبقاتِ المختلفةِ من خلال طلاء حوائط الفتحات، حيث وضعَت مستعرضةً مع اللوح عند الأماكنِ الملائمةِ. تبدأ الألواح المتعددة الطبقات بثلاثة طبقات دائرة أو أكثر، بينما بعض الألواح قد يصل حتى ٥٠ طبقة. الشكل رقم ١–٩ يوضح تفاصيلَ توعان مِنْ أنواعِ الألواح المتعددةِ الطبقات، احداهما بأربعة طبقاتِ والأخرى بثمانية طبقات.

استناداً إلى التركيبِ الموصل للطبقات المتعدّدةَ، فإن توزيع الأسلاك المطبوعة المتعدّدة الطبقات يسهّلَ التخفيض في الوزنِ وحجمِ الترابطِ المتعادلِ مع حجمِ ووزنِ العناصر التي تربط.

تَستلزمُ المناطقُ التاليةُ مِنْ التطبيقِ إستعمال ترتيباتِ توزيع الأسلاك المطبوعة متعددةِ الطبقات:

- أينما كانت مدّخرات الحجمَ والوزنَ في الترابطِ الداخلي تعتبر الإعتبار الأهمَّ، كما في تطبيقات القذيفةِ العسكريةِ والمحمولة جواً والفضاءِ؛
- عندما يتطلب تعقيد الترابطِ الداخلي في الأنظمةِ الثانويةِ توزيع اسلاك أو ضفائر معقّدة وغالية؛



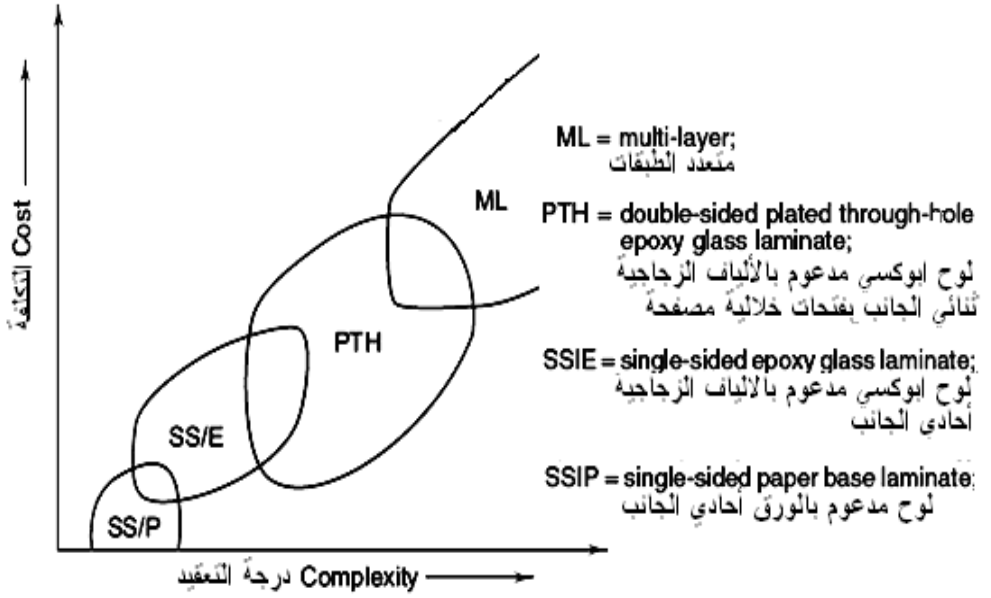
شكل رقم (١-٩) يوضح ألواح متعددةِ الطبقات، احداهما بأربعة طبقاتِ والأخرى بثمانية طبقات

- عندما تستدعي متطلبات الترددِ السيطرةِ الحذرةِ وإتساقِ ممانعات الموجةِ الموصلة مع التشويهاتِ distortions الدنيا وانتشار الاشارة signal propagation ، وحيث أن إتساق هذه الخصائصِ مِنْ لوح إلى لوح يكون هام؛
- عندما يكون الإزدواج coupling أَو التحجيب shielding لعدد كبير من الوصلات ضروريُ؛ فإن السعة العالية الموزعة بين الطبقات المختلفة تعطي فك ازدواج decoupling جيد لقدرة التغذية حيث تسمح للتشغيل المقنع لدوائر السرعات العالية؛
- بتعدّدِ الطبقاتِ، كُلّ الترابط الداخلي يُمْكِنُ أَنْ يُوْضَعَ على الطبقاتِ الداخليةِ، ويمكن وضع مسرب حراري من النحاس الصلب السميك على الأسطح الخارجيةِ. بواسطة تثبيت العناصر مباشرة على الأسطح المعدنيةِ، فإن مشكلة توزيعِ الحرارةِ وإزالةِ الحرارةِ في

الأنظمةِ يُمْكِنُ أَنْ تخفض. أيضاً، التخطيط والتصميمات الفنية تُبسّطُ بشكل كبير على حساب غيابِ التغذية والخطوط الأرضية على مستويات الاشارة signal planes .

بسبب التَطَوّراتِ في تكنولوجيا التصفيحِ الانتاجية mass lamination technology ، فإن الألواح رباعية الطبقات وحتى الألواحِ سداسية الطبقات يُمْكِنُ أَنْ تصنع بنفس السهولةِ تقريبا كالألواح الثنائية الجانب. بتحسينِ الثقةِ reliability والتخفيضِ في التكلفةِ لألواح الدوائر المطبوعة، نجد أن إستعمال الألواحِ متعددةِ الطبقات لَنْ يحدّدَ بعد إلى المُنتَجاتِ التكنولوجية المتطورةِ فقط، لكنها تنتشر إلى بعض مِنْ التطبيقات الأكثر شيوعاً مثل إلكترونياتُ الترفيهِ وصناعةِ اللعب.

تعتمد تكلفة أى لوح دائرة مطبوعة على درجة تعقيدها والتكنولوجيا المستعملة. الشكل رقم ١-١٠ يوضح العلاقةُ بين التعقيدِ وتكلفة ألواح الدوائر المطبوعةِ.


التكلفة Cost
درجة التعقيد Complexity
ML
PTH
SS/E
SS/P
ML = multi-layer;
متعدد الطبقات
PTH = double-sided plated through-hole epoxy glass laminate;
لوح ابوكسي مدعوم بالألياف الزجاجية ثنائي الجانب بفتحات خلالية مصفحة
SSIE = single-sided epoxy glass laminate;
لوح ابوكسي مدعوم بالالياف الزجاجية أحادي الجانب
SSIP = single-sided paper base laminate;
لوح مدعوم بالورق أحادي الجانب

شكل رقم (١-١٠) يوضح علاقة التكلفة cost ودرجة التعقيد complexity للوح وعلى نوع التكنولوجياً المستخدمة

١-٤-٤ ألواح الدوائر المطبوعة الصلبة والمرنة

Rigid and Flexible Printed Circuit Boards:

يُمْكِنُ أيضاً تُصنّيفَ ألواح الدوائر المطبوعة على أساس نوعِ مادة العَزْل المستخدمة، وبمعنى آخر: النوع الصلّب rigid أَو النوع المرن flexible . بينما تصنع الألواح الصلبة من تَشْكِيلة من الموادِ، فإن الألواح المرنة تَستعملُ مواد البنية التحتية المرنة مثل البوليسترِ أَو البوليميد polyamide. المادّةَ الأساسيةَ التي عادة تكون رقيقةُ جداً، تكون بسمك ٠.١ مليمترِ. الألواح المدعومة المستعملةً في الألواحِ المرنةِ متوفرة بالنحاسِ في أحد الجانبين أَو في كلا الجانبين بالدلفنة. الالواح الصلبة-المرنة، التي تشكّلُ تركيبة من الألواحِ الصلبة والمرنةِ عادة يكونا مترابطين معاً، وتكون تركيبات ثلاثية الأبعادَ التي لَها أجزاءُ مرنةُ موصولة مع الألواح الصلبة، التي تَدْعمُ عادة العناصر. هذا الترتيبِ يَعطي كفاءة بشكل حجمي مغلف وبالتالي يَكْسبُ إستعمالَ واسع الإنتشار في الأجهزةِ الإلكترونيةِ. ألواح الدوائر المطبوعة PCBs المرنة قَدْ تكُون أحادية الجانب، أو ثنائية الجوانب (بفتحات خلالية مصفحة PTH أَو بفتحات خلالية غير مصفحة non-PTH)، أو متعددة الطبقات.

١-٥ أصنافِ الألواح المطبوعة من ناحية التطبيق:

ألواح الدوائر المطبوعة (PCBs) أَو ألواح توزيع الأسلاك المطبوعةِ (PWBs) يُمْكِنُ أَنْ تُقسّمَ إلى صنفين عامين حيث لهما خصائصُ مشتركةُ مستندة على وظائفِ نهائية. هذان الصنفان لَهما موادُ مختلفةُ جداً ومتطلباتُ تصميمِ، ووظائف، وكنتيجة، تحتاج لأَنْ تعالجَ بشكل مختلف في كافة أنحاء التصميمِ وعمليات الصناعة. الصنف الأول يَحتوي ألواح الدوائر المطبوعة PCBs التماثلية analog، والراديوية RF، والمايكروويفية microwave مثل الموجودة في المسجلاتِ stereos، والمرسلات transmitters ، والمستقبلات receivers ، وتغذية القدرة الكهربائية power supplies ، والتحكم الآلي automotive controls ، والافران الميكروويفية microwave ovens ، والمنتجات المشابهة. أما الصنف الثاني فيحتوي مجموعة الدوائر المؤسسة على الاشارة الرقمية مثل الموجودة في الحاسباتِ، ومعالجات الاشارة signal processors ، وألعاب الفيديو video games، والطابعات printers، ومُنتَجات أخرى تَحتوي مجموعةَ الدوائر الرقميةَ المعقّدةَ. الجدول رقم ١-١ يحتوي العديد مِنْ خصائص كُلّ صنف من أصناف ألواح الدوائر المطبوعة PCBs.

جدول رقم (١-١) يوضح خصائص ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات التماثلية والراديوية مقابل الألواح المؤسسة على الاشارات الرقمية :

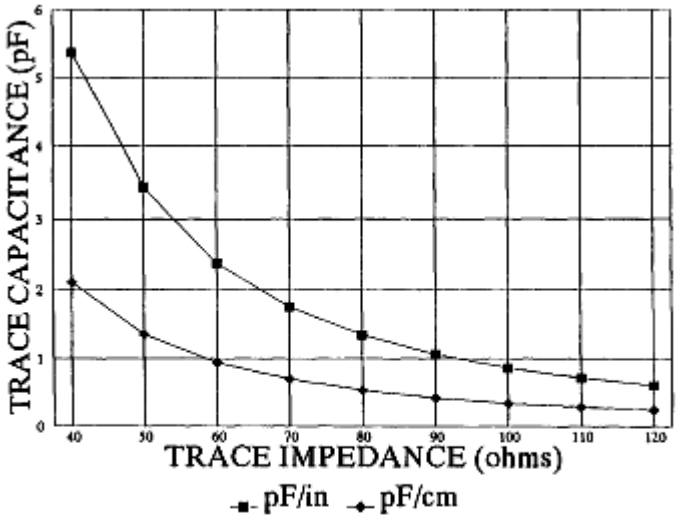
وجــه المقارنــة/نــوع إشارة الدائرة	ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات التماثلية والراديوية	الألواح المؤسسة على الاشارات الرقمية
درجة التعقيد	درجة تعقيد في الدائرة منخفضة	درجة تعقيد في الدائرة عالية جداً
توافق الممانعة	توافق دقيق للممانعة ضروري	مسموح بمستوى معين من عدم توافق الممانعة
فقد الاشارة	الاقلال من فقود الاشارة ضروري	مسموح للمواد التي تسبب فقد
حجم العناصر	صغر مقاسات العناصر في الغالب ضرورية	صغر مقاسات العناصر حسب الرغبة
عدد الطبقات	فقط طبقة واحدة أو طبقتين	العديد من طبقات القدرة والاشارة
الدقة	تحتاج لدقة عالية جداً	تحتاج لدقة متهاودة
ثابت العزل	تحتاج لثابت عزل منخفض أو منتظم	ثابت العزل ثانوي

١-٥-١ خصائصِ الألواح المطبوعة التماثلية والراديوية والميكروويف Characteristics of Analog, RF, and Microwave PCBs:

كما أمكن رؤيته مِنْ الجدول ١-١، المواد، والتصميم، وإحتياجات صناعةِ هذا الصنفِ من ألواح الدوائر المطبوعةPCBs تكون مختلفة تماماً عن ألواح الدوائر المطبوعة PCBs المنسوبة عموماً إلى المجال الرقميِ.

- تعقيد دائرةٍ يكون منخفضُ لأن أكثر العناصر المستعملة لَها إثنان، أو ثلاثة، أَو أربعة أطراف. هذا بسبب الإستعمالِ العاليِ للمقاوماتِ، والترنزستورات، والمكثّفات، والمحولات، والملفات inductors.

- المسارات Traces، والوسائد pads ، ونقاط العبور vias تعمل في أغلب الأحيان كملفات inductors، وكمكثّفات، وكإزدواج عناصرِ في الدائرة الفعليةِ. أشكالها لَرُبَّما لَها تأثير مادي على الأداءِ العام للدائرة. على سبيل المثال، المحاثّة الكهربائية للطرف والسعة في سلك دائرةِ مجمع الترنزستورِ قَدْ يقوما بفعل العناصر الرنانةresonant components لمكبر التردد الراديوي RF أَو قَدْ تخفّضُ الأداءَ performance إذا لم تكن مرغوبة. الشكل رقم ١-١١ يوضح الممانعة الكهربائيةَ للمسارات كدالة لسعاتهم.



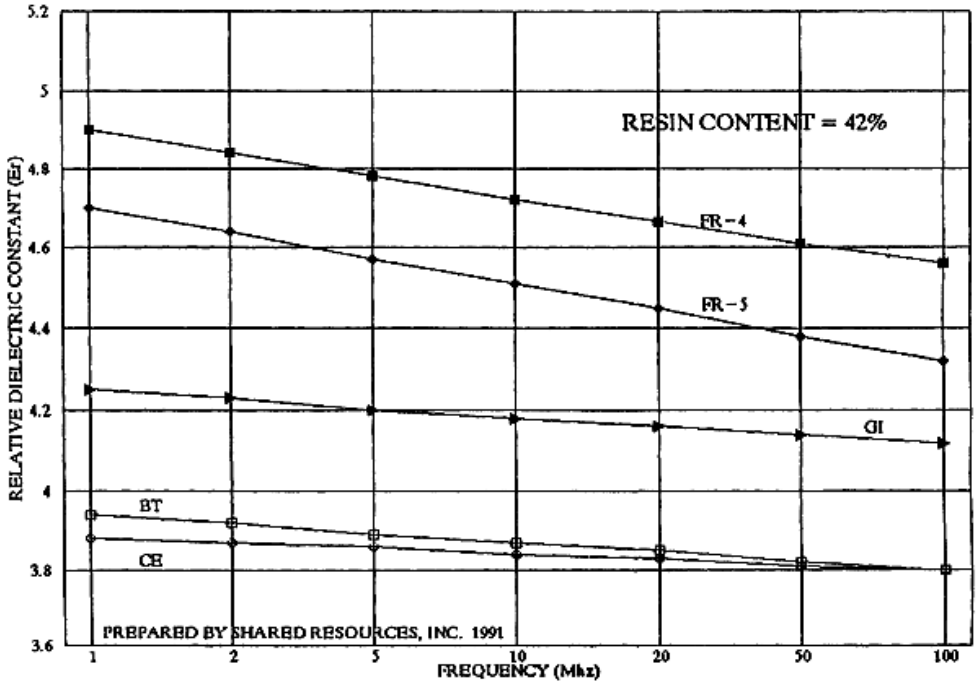
شكل رقم (١-١١) يوضح العلاقة بين سعة المسار وممانعة المسار

المؤسسة على $L_O = 8.5nH / in$

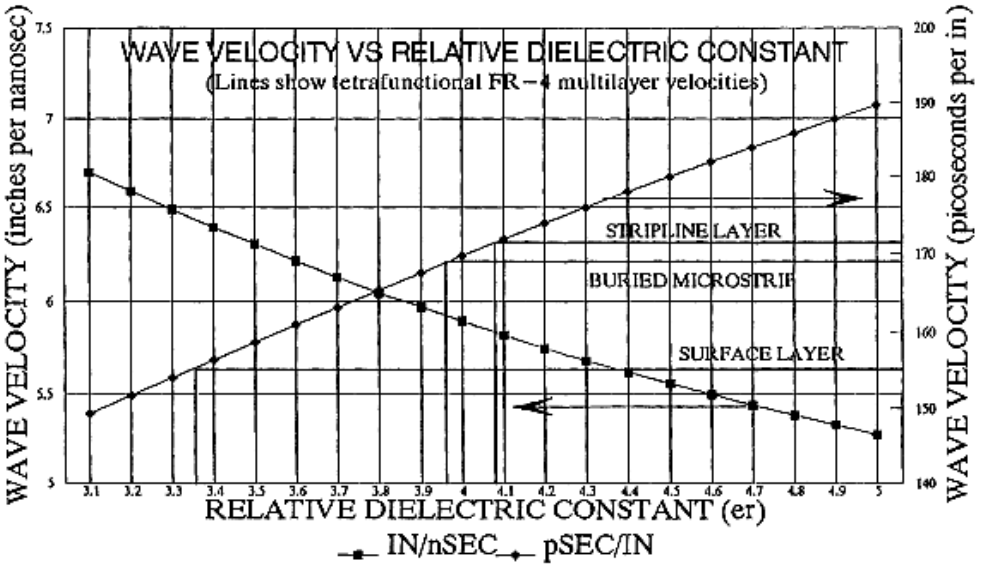
- إثنان من المسارات النحاسية يجريان جنباً إلى جنب قَدْ يُستَعملانِ لتزاوج أى إشارة من دائرة إلى آخرى كما يُعْمَلُ في الرابطات الإتجاهيةِ directional couplers لمكبراتِ المايكروويفِ. (هذا الإزدواج هو نفسهِ في الدائرة الرقمية الذي قَدْ يؤدّي إلى إشارة تَدْاخلُ إلى الدائرة المجاورة مسببة عطل.)
- أى سلسلة من الموصلات تجرى جنباً إلى جنب قَدْ تَشتغلُ كمرشِح إمرار نطاقي band-pass filter . الأداء الصحيح للمرشحاتِ، بالإضافة إلى أكثر الدوائرِ الاخرى ذات التردد الراديوي المتسعة النطاق wideband RF، يَعتمدُ على كُلّ الترددات المرتحلة بالسرعةِ المساويةِ خلال التركيبات. إلى حدّ أَنَّ هذا لَيسَ حقيقيَ، فإن الترددات التي تصِلُ متأخرة

تعمل على تشويه الإشارةَ لاحقاً تَكُونَ مصنّعة. هذا يُدْعَى تشويهَ وجه phase distortion .

الشكل رقم ١-١٢ يوضح ثابت العزل dielectric constant للموادِ المختلفة للوح الدائرة المطبوعة PCB كدالة للترددِ. لاحظ أن بَعْض المواد تظهر هبوطِاً مثيراً في ثابتِ العزلِ بينما يزداد التردد. إنّ السرعةَ التي تنتقل بها الاشارة خلال العازل هى عبارة عن دالة لثابت العزل. الشكل رقم ١-١٣ يوضح سرعةً الاشارة كدالة في ثابت العزل. مِنْ هاتين الرسمتين البيانيتين يُمْكِنُ أَنْ نرى أنّ إستعمال أى مادّة عازلة مَع ثابت عزل غير منتظم في التطبيقاتِ الراديوية RF قَدْ تُؤدّي إلى تشويهِ وجهي phase distortion لأن مركبات التردد الاعلى تَصِلُ عند الخرج قبل الترددات الاقل.

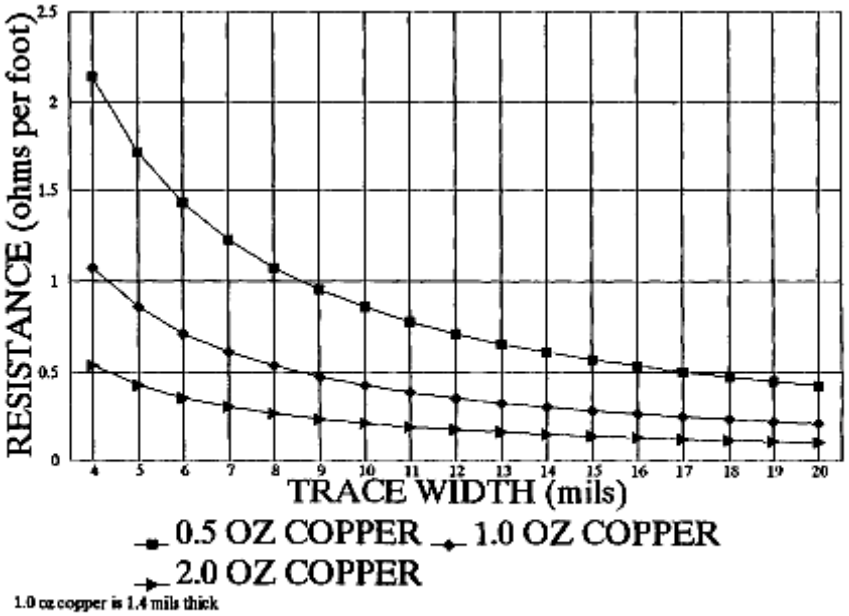


شكل رقم (١-١٢) يوضح العلاقة بين ثوابت العزل والتردد لمواد لوح الدائرة المطبوعة المختلفة

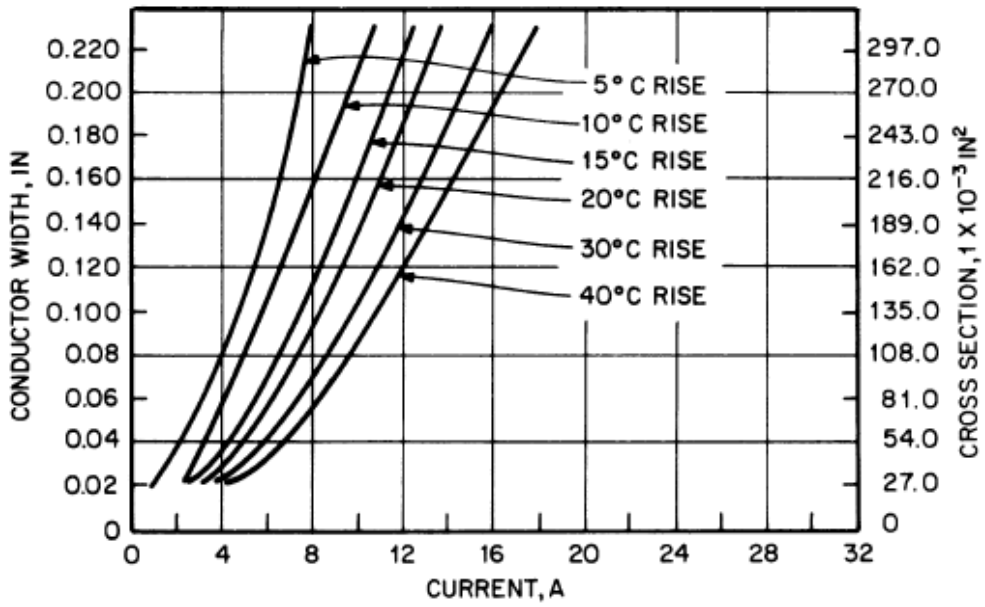


شكل رقم (١-١٣) يوضح سرعة الاشارة كدالة في ثابت العزل

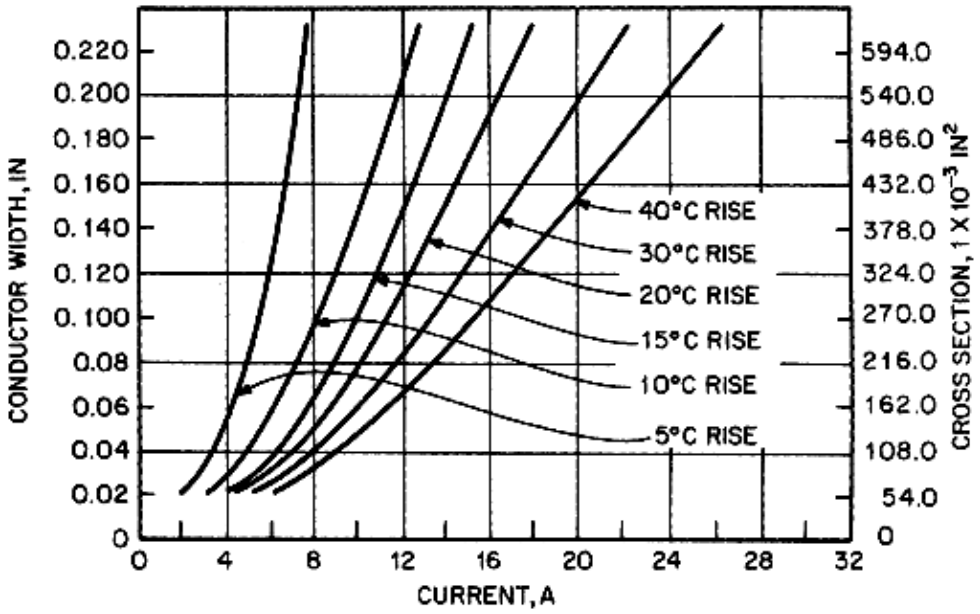
- أى مسار نحاسي في دائرة تغذية القدرة قَدْ تُتوقّعُ حَمْل يؤدي إلى سحب عِدّة أمبيرات بدون تسخين ذو معنى أَو اسقاط للجهد. مقاومته قَدْ تُستَعملُ حتى كعنصر حساسِ لإكتِشاف تدفقِ التيار. بنفس الطريقة، معالجة التياراتِ الكبيرةِ بالنحاسِ الغير كافيٍ في المسار قَدْ يُؤدّي إلى اسقاط جهد مما يخفّضُ أداءَ الدائرةِ. الشكل رقم ١-١٤ يوضح مقاومةَ المسار النحاسي كدالة لعرضِه وسُمكِه. الاشكال أرقام ١-١٥ و ١-١٦ توضح تسخين الموصل كدالة للعرضِ، والسُمك، وتدفق التيار.
- الواح الدوائر المطبوعة المستعملة في الأجهزة الإلكترونية الإستهلاكيةِ تميلُ إلى المشاركة بالدائرةِ المنخفضة التعقيد مع ألواح الدوائر المطبوعة الراديوية RF والتماثلية analog. على أية حال، طلبات الأداءَ أقل جداً. الحاجة إلى التكلفة الاقل الممكنة تُوازنُ هذه. لإنْجاز أهدافِ التكلفةَ، كُلّ جُهد يتم للإبْقاء على كُلّ التوصيلات على الجانب المفرد ولتَشكيل كُلّ الفتحات بعملية تخريم واحدة. هذا يُزيلُ كلا من التثقيب drilling والتصفيح plating . إنّ نظامَ مادة البنية التحتية يكون في أغلب الأحيان ورق مشبع بالراتنج، حيث أنها نظام البنية التحتية ذات التكلفة الاقل للتغليف الإلكترونيِ.



شكل رقم (١-١٤) يوضح العلاقة بين مقاومة المسار وعرض وسمك المسار



شكل رقم (١-١٥) يوضح العلاقة بين ارتفاع درجة الحرارة والتيار لواحد أونس نحاس



شكل رقم (١-١٦) يوضح العلاقة بين ارتفاع درجة الحرارة والتيار لإثنين أونس نحاس

- تَلخيص، يَعتمدُ التصميم الناجح الراديوي RF والتماثلي analog بشدّة على خواص الموادِ المستعملةِ وعلى الأشكالِ الطبيعيةِ للموصلات وقربِها لبعضها البعض بدلاً مِنْ القدرةِ على مُعَالَجَة أعداد كبيرةِ جداً من الدوائرِ بشكل آني. التوجيه اليدوي أَو توصيل الأجزاءِ الفرديةِ المقترنة بمُعَالَجَة أشكالِ الميزّاتِ النحاسيةِ الفرديةِ هى أدوار أساسية لعمليةِ التصميمِ هذه. لهذه الأسبابِ، أدوات التصميمَ وفريقَ التصميمِ يجب أنْ يَختَارا ليَلبّيا هذه الإحتياجاتِ. أدوات التخطيطِ الطبيعيةِ التي تعطي المعالجة التخطيطية المتاحة للوح الدائرة المطبوعة تكون واجبة.

١-٥-٢ خصائصِ ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارة الرقمية :Characteristics of Digital-Based PCBs

بالمقَارنة بين ألواح الدوائر المطبوعة الراديوية RF ، والتماثلية analog ، نجد أن ألواح الدوائر المطبوعة المؤسسة على الاشارات الرقمية لديها توصيلات داخلية معقدة، لكنها متسامحة بالأحرى في سمة الحجم وإختلاف الموادِ.

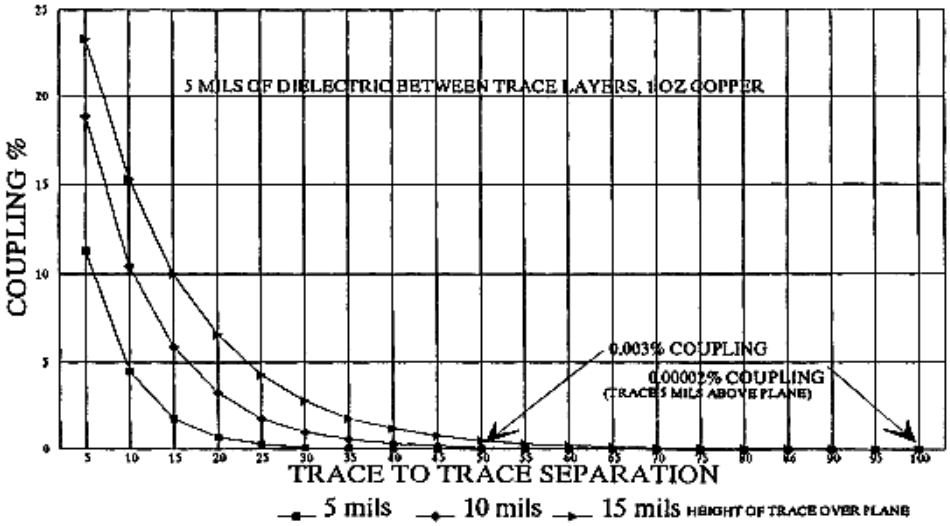
- مميزة بالعدد الكبير جداً من العناصر، يَعْدُّ في أغلب الأحيان بالمِئاتِ وأحياناً بالآلاف.
- العناصر الرقمية لَديها أعداد كبيرةُ من الارجل في أغلب الأحيان حتى الـ٤٠٠ أَو أكثرِ. هذا المستوى العالي من الارجل يَنْجمُ عن هندسة المنطقِ المعماريةِ التي لَديها البياناتُ وممراتُ العناوين بعرضِ الـ١٢٨ رقم ثنائي bits أَو أكثر. لتوصيل ألواح الدوائر المطبوعة PCBs بهذه الممرات العمومية للبياناتِ العريضة wide data buses، في أغلب الأحيان تَحتوي الأنظمةَ الرقميةَ على مقابس لربط لوح مع لوح بأطراف قد تصل حتى ١٠٠٠ دبّوس.
- للدوائر الرقمية حافاتُ للنبضات سريعةُ fast edges وتأخير انتشار منخفض low propagation delays لإنْجاز أداءِ أسرعِ. معدلات الحافة Edge rates تُقدّرُ ١ نانو ثانية تُصادفُ الآن في الأجهزة المتجهة إلى المُنتَجاتِ الشائعة كألعاب الفيديو. الجدول رقم ١-٢ يحتوي قائمةَ لسرعات الحافة لبعضِ العائلات المنطقية الشائعة والمستخدمة، معدل الحافةِ هو الزمن المطلوب لإشارة المنطقِ للنَقْل مِنْ مستوى منطقِ معين إلى آخر (سرعة التحويل أو الانتقال). تأخير الانتشار Propagation delays ، هو الزمن المطلوب للإشارة للارتحال خلال الجهاز device، وهى تقل سوياً مع معدل الحافةِ.

جدول رقم (١-٢) يوضح سرعات التبديل أو التحويل للعائلات المنطقية النموذجية

Logic family	Edge speed, ns	Critical length, in
STD TTL	5.0	14.5
ASTTL	1.9	5.45
FTTL	1.2	3.45
HCTTL	1.5	4.5
10KECL	2.5	7.2
BICMOS	0.7	2.0
10KHECL	0.7	2.0
GaAs	0.3	0.86

- هذه الحواف السريعةِ fast edges وتأخير الانتشار القصيرِ short propagation delays يُؤديان إلى تأثيراتِ خَطِّ التراسل مثل الإزدواج coupling، وإرجاع أرضي ground bounce، والإنعكاسات reflections التي يُمْكِنُ أَنْ تُؤدّي إلى تشغيل غير

صحيح لألواح الدوائر المطبوعة PCB الناتجة. الجدول رقم ١-٢ يوضح الدرجةَ التي إليها إشارة التحويل السريع سَتتُزاوجُ مع الخط المُجَاوَر كدالة لفصل الحافةِ عن الحافة edge-to-edge separation وإرتفاعِ زوجِ الإشارة فوق مستوى القدرة الكهربائيةِ power plane التحتي. إنّ الطولَ الحرجَ المدرج في الجدول رقم ١-٢ هو طول التَوازي بين مسارين نحاسيين عند الوصول إلى مستويات الإزدواج في الشكل ١-١٧ .



شكل رقم (١-١٧) يوضح الازدواج من مسار إلى مسار

صممت الدوائرَ الرقميةَ نفسها للإشتِغال بشكل صحيح بإشاراتِ دخل تتغير على مدى واسع من القيم نسبياً. الشكل رقم ١-١٨ يوضح مستويات الإشارة لعائلة منطقية مثالية logic family، في هذه الحالة هى ECL. وتعرف إشارةَ الخرج الأصغرِ smallest output signal مِنْ ECL driver بأنها الفرق بين VOL_{max} وVOH_{min} أَو ٠.٩٩ فولت. جهد الدخل smallest input voltage الأصغرِ إلى العنصر device عند جزء المنطق المصمّمَ للعَمَل بشكل صحيح هو الفرق بين VIL_{max} وVIH_{min} أَو ٠.٣٧ فولت. الفرقِ بين هذين المستويين، هو هامش الضوضاءَ noise margin الذي يساوي ٠.٦٢ فولت متوفرُ لصَدّ الفقود counteract losses في توزيع الأسلاك والعازل ومِنْ المصادرِ الأخرى مثل الإزدواج والإنعكاساتِ. مِنْ هذا يُمْكِنُ أَنْ نرى أنّ المنطقِ

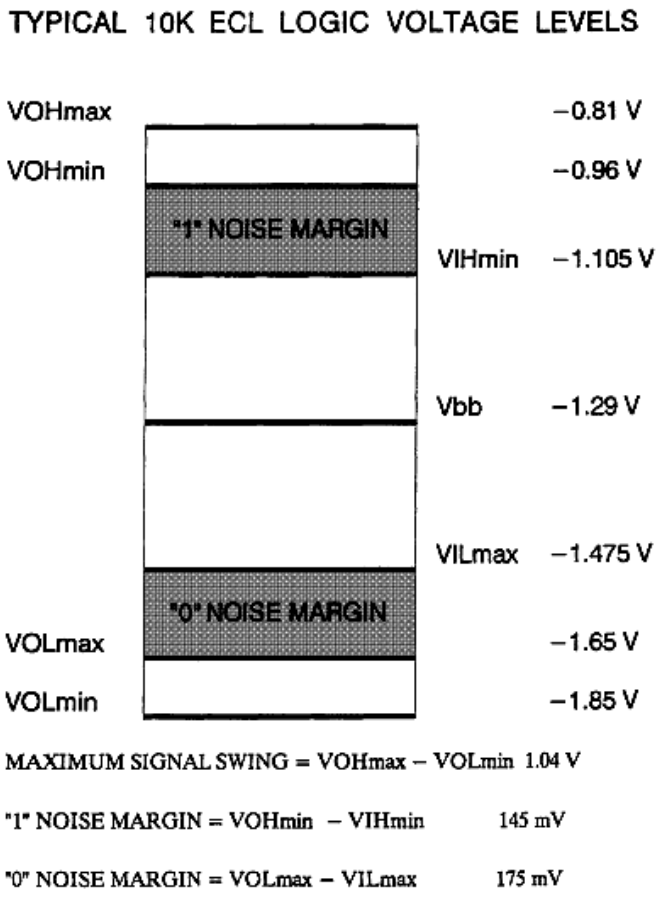
الرقميِ لَهُ تفاوت عالٍ مِنْ الفقود high tolerance of losses ومناعةِ أعلى للضوضاء higher immunity to noise .

هذا التَفاوت مِنْ الضوضاءِ والفقود يجعل من الممكن أَنْ يَكُونَ لديهُما مميزات مسار وموادُ أساسيةُ base materials تقدم فقود وتشويهَ كبيرَ بينما ما زالا يُنجزانِ التشغيل الصحيح. وهذا التَفاوت العالي نسبياً مِنْ التشويهِ الذي يَجْعلُ من الممكن أن تكون صِناعَة ألواح دوائر مطبوعة رقمية إقتصاديةٍ.

الخلاصة. العدد الكبير للتوصيلات في ألواح الدوائر المطبوعة PCBs الرقمية يَتطلّبُ عموماً طبقات توزيع اسلاك مضاعفة لتَوزيع القدرة الكهربائية بنجاح وربط كُلّ العناصر devices. كنتيجة لذلك، مهمّة التصميمَ متحيّزة جداً لجانب عمل العديد بشكل ناجح مِنْ التوصيلات في عدد محدود من طبقات التوجيه بينما يَطِيعُ هذا قواعدَ خَطِّ التراسل. تَحتاجُ الموادُ الأساسيةُ أَنْ يَكُونَ لها الخصائصُ التي تُؤدّي إلى لوح دائرة مطبوعة PCB إقتصاديةُ لصِناعتها وقادرة على مُقَاوَمَة عملياتِ اللحام بينما تحافظ على الأداءَ السريعَ. بالمقَارنة مع الواح الدوائر المطبوعة الراديوية RF، نجد أن الفقود في العازل تؤول إلى الاهتمام الاقل لألواح الدوائر المطبوعة PCBs الرقمية. الأشكال الفعلية للموصلات، والوسائد، والفتحات، والمميزّات الأخرى لَها تأثيرُ صَغيرُ على الأداءِ. للمعالجة المفصلة لهذه المواضيعِ، ارجع إلى :

Howard W. Johnson and Martin Graham, High Speed Digital .Design: A Handbook of Black Magic, Prentice Hall, New York, 1993

نظام تصميمِ لوح الدائرة المطبوعة PCB ومهارة التصميمَ وضعت لألواح الدوائر المطبوعة PCBs الرقمية يجب أنْ يُحَسّنا لضمانْ الدقةً في عَمَل أعداد كبيرة من التوصيلات بينما تُعالجُ متطلبات السرعة العالية بنجاح للنظامِ. إنْجاز هذا بكمية معقولة مِنْ الطلبات الزمنية يجب استعمال نظام CAD الذي يَحتوي موجه آليَ للإستعمالِ في ربط الأسلاكِ.

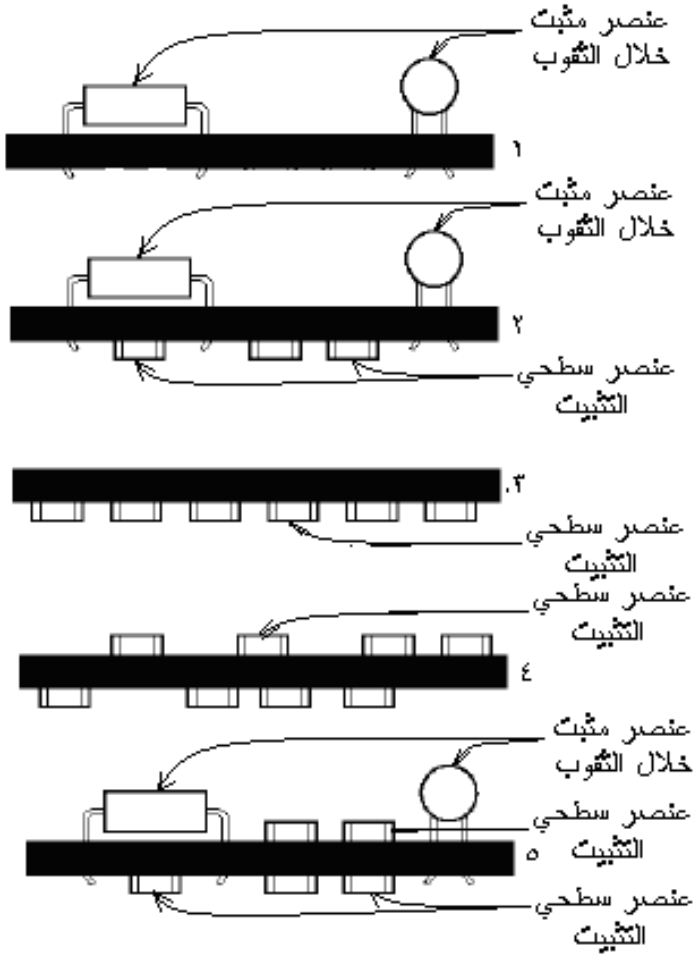


شكل رقم (١−١٨) يوضح خريطة نطاق الضوضاء لعائلة المنطق ECL

١-٦ طرقِ تثبيت العناصر بألواح الدوائر المطبوعة METHODS OF ATTACHING COMPONENTS:

هناك تشكيلة واسعة من الطرقِ تَطوّرتْ لرَبْط العناصر بألواح الدوائر المطبوعة PCBs. الطرق إختيرتْ بالإضافة إلى تركيبات من الطرقِ إختيرتْ لمُنتَج لَه تأثير كبير على التكلفة النهائية، وسهولة التجميع، وتوفر العناصر الالكترونية، وسهولة الإختبارِ، وسهولة إعادة التشغيل (معالجة عيوب الصناعة). هناك خمس تركيبات اساسية لتثبيت العناصر كما بالشكل رقم ١−١٩ :

١. خلال الفتحات فقط،
٢. خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي على جانب واحد،
٣. تثبيت سطحي على جانب واحد فقط،
٤. تثبيت سطحي على كلا الجانبين،
٥. وتثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات.



شكل رقم (١-١٩) يوضح أنواع تكنولوجيا تجميع العناصر السطحية والتقليدية على لوح الدائرة المطبوعة

١-٦-١ تثبيت من خلال الفتحة فقط Through-Hole Only:

كُلّ ارجل العنصر تَرْتبطُ بالوح الدائرة المطبوعة PCB وذلك بواسطة ادخال هذه الارجل خلال فتحات محددة باللوح للحامها بجانب اللحام. العناصر قَدْ تثبت باللحام اليدوي للكميات الصغيرة أو باللحام الموجي للكميات الانتاجية الكبيرة. يتضمّنُ التجميع عملية تنسيبِ العنصر المتبوعة بعملية اللحام بالموجة. هذه الطريقةِ ما زالَتْ حصانُ شغل لصناعة الإلكترونياتِ الاستهلاكية المنخفضة التكلفة.

١-٦-٢ تثبيت خلال الفتحات مخلوطة مع التثبيت السطحي Through-Hole Mixed with Surface-Mount:

مكوّنات مثل المقابس connectors و الدوائر المتكاملة ذات تغليف مصفوفة الكرات الشبكية PGAs يتم ربطهما بلوح الدائرة المطبوعة PCB بتكنولوجيا التثبيت من خلال الفتحات. كُلّ العناصر الأخرى مثبتة باستخدام الأغلفة سطحية التثبيت. هذه هى الطريقةُ الأكثر شيوعاً المستخدمة لتَجميع المُنتَجاتِ الإلكترونية. التجميع هو عملية بخطوتِينِ حيث تتضمّنُ وَضْع كُلّ الأجزاء المثبّتة سطحياً ولحامها في أماكنها بنظام اللحام بالمعجون solder reflow system، ثمّ ادخال كل الاجزاء ذات التثبيت من خلال الفتحات ولحامها في مكانها بتشغيل اللحام بالموجة. بدلاً من ذلك، التثبيت من خلال الفتحاتِ قَدْ يكُون مَلْحُوم يدوياً إذا كانت الكميةِ صغيرةُ.

١-٦-٣ تثبيت سطحي على جانب واحد فقط Surface-Mount, One Side Only:

هذا النوعِ مِنْ التغليف يُصنع من الأجزاءِ المثبّتة سطحياً جميعها مثبت على نفس الجانب للوح الدائرة المطبوعة. التجميع عبارة عن عملية من خطوةِ واحدةِ حيث تَتضمّنُ وَضْع كُلّ العناصر ولحامها في مكانها باستخدام نوع من اللحامِ يطلق عليه معجون اللحام ويصهر في فرن solder reflow.

١-٦-٤ تثبيت سطحي على كلا الجانبين Surface-Mount, Both Sides:

يَحتوي هذا النوعِ مِنْ التغليف عناصر مثبّتة سطحياً على كلا الجانبينِ. التجميع هنا عبارة عن عملية مكونة من خطوتين حيث تَتضمّنُ وَضْع بعض العناصر سطحية التثبيت على أحد الجانبين ولحامها بمعجون اللحام، ثم تتَلى بوَضْع عناصر الدائرة الباقية على الجانبِ الآخرِ ولحامها بمعجون اللحام. بالأضافة إلى عمليات التجميع الأكثر تعقيداً، تصمّيمُ واختبارُ هذا النوعِ مِنْ التجميع أكثر تعقيداً، بينما تَشتركُ أجزاءُ في نفس المنطقةِ في أغلب الأحيان على الجوانبِ المعاكسةِ للوح الدائرة المطبوعة PCB، مسبّبة تعارضات عندما تُحاولُ تَحديد مكان نقاط العبور vias ونقاطَ الاختبار.

١-٦-٥ تثبيت سطحي على كلا الجانبين مع التثبيت خلال الفتحات Surface-Mount, Both Sides with Through-Hole:

بينما يَدْلُّ الاسمُ عليه، يَحتوي هذا النوعِ من التغليف على أجزاءَ مثبّتة سطحياً على كلا الجانبينِ، بالإضافة إلى أجزاءِ تثبت من خلال الفتحات مثل المقابس connectors. في أكثر الحالاتِ، المكوّنات المثبّتة سطحياً على أحد الجوانب تكون غير فعالة (غير نشطة) passives، مثل مكثّفاتِ الامرار الجانبي bypass capacitors ومقاومات التي يُمْكِنُ أَنْ تُقاوم خلالِ مرورها اللحام الموجي. التجميع عبارة عن عملية ثلاثية الخطوة حيث تَتضمّنُ وَضْع العناصر سطحية التثبيت على الجانبِ الأساسيِ ولحامها بمعجون اللحام. بمجرد ما أن يكتمل هذا، الجانب الثانوي تلصق العناصر السطحية في مكانها، بينما يتم ادخال عناصر التثبيت خلال الفتحات ، ويتم ارسال اللوح خلال حوض اللحام الموجي.

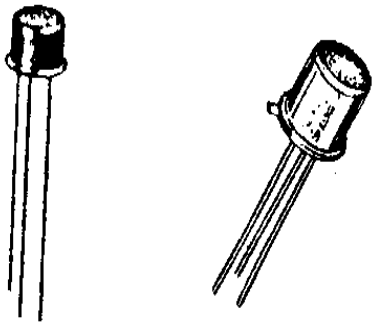
بسبب العملياتِ الإضافيةِ وتعرّضِ المكوّناتِ على الجانبِ الثانويِ إلى اللحام المنصهر، هذا النوعِ مِنْ التجميع عرضة للعديد مِنْ عيوب التجميع. من المُهمِ مُلاحَظَة أن لحام الاجزاء ذات الخطوة الدقيقة fine-pitch على الجانب الثانويِ يستخدم اللحام الموجي الذي يُؤدّي إلى التقنطر نتيجة للفرط في اللحام حيث يَجِبُ أَنْ يُتفادى. بالإضافة، العناصر النشيطة، مثل الدوائر المتكاملة ICs، قَدْ تكُون متضرّرة نتيجة التعرّضِ للتسخين المفرط.

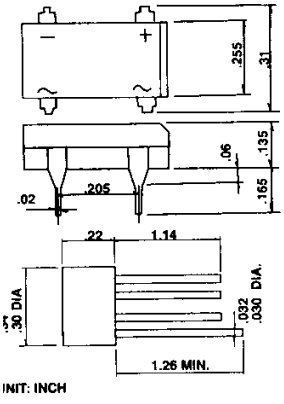
١-٧ أنواع أغلفة العناصر
COMPONENT PACKAGE TYPES:

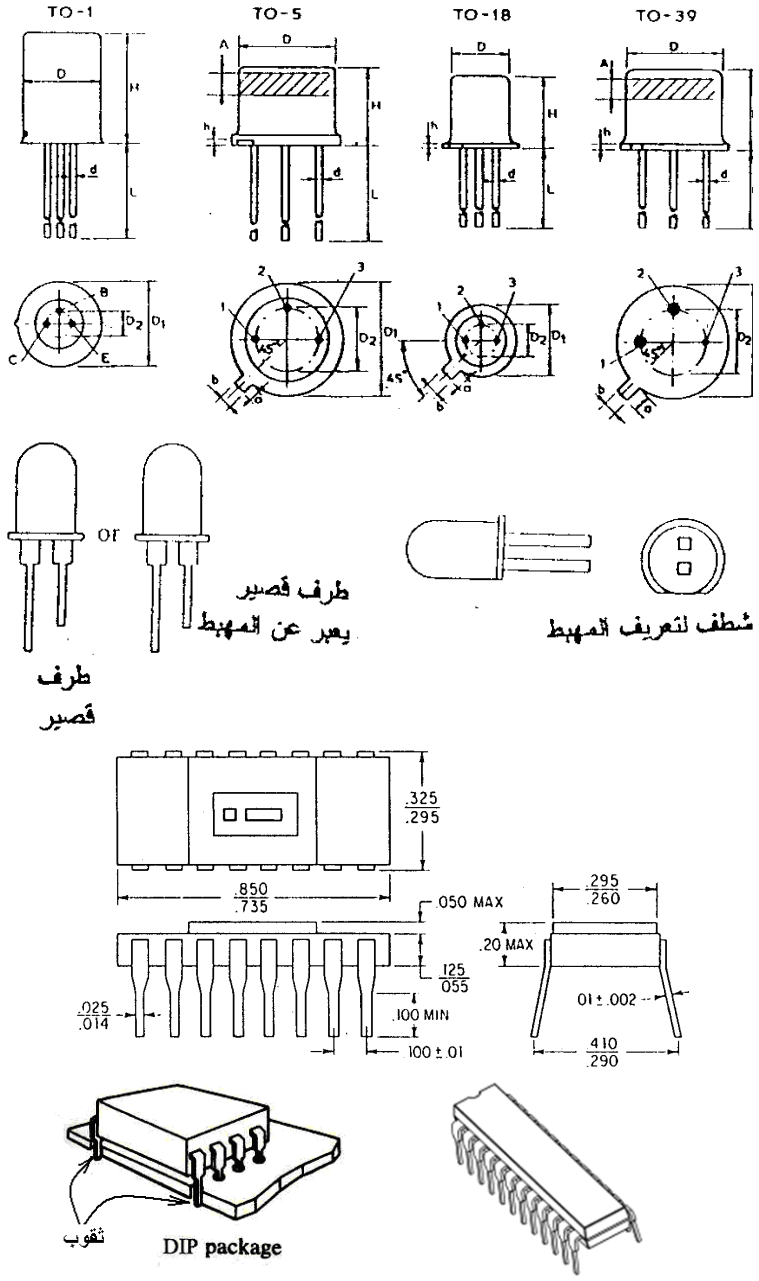
بمرور الوقت، تطورت تشكيلة عريضة مِنْ الأغلفة لإحتواء العناصر. إخْتيارَ نوعَ الغلاف الصحيحِ لكُلّ عنصر هو أحد أهم الأجزاءِ في عملية التصميمِ وكذا تحديد أدنى مساحة للوح الدائرة المطبوعة. وقد تُؤثّرَ أنواع الأغلفة المختارة على سهولةِ التصميمِ، والتجميع، والإختبار، وإعادة التشغيل، وأيضاً تكلفة المُنتَج وتوفر العنصر.

١-٧-١ التغليف التقليدي
Conventional packaging
(Through-Hole Mount packages):

هذا الصنفِ مِنْ العناصر مُمَيَّزُ بالأجزاءِ التي لَها سلكُ أَو أرجل أو اطراف مشكّلة. هذه الأرجل تعبر من خلال الفتحاتَ المثقبة أَو المخرومة في لوح الدائرة المطبوعة PCB وتَلْحمُ إلى الأرضي على الجانبِ الخلفيِ أَو للطبقة المطَلية على حوائط الفتحاتِ. هذا النوع من التغليف الأصليِ مستعمل للعناصر الإلكترونيةِ التقليدية. المنفعة الرئيسية للمكوّناتِ المثبتة من خلال الفتحات هو حقيقة أنّ كُلّ رجل عنصر تمر خلال اللوح المطبوع PCB. بسبب هذا، هناك وصول آلي إلى أى طبقة من طبقات اللوح المطبوع PCB لتنفيذ التوصيلات. كُلّ رجل تصبح متوفرة أسفل اللوح المطبوع PCB، لذا كانت وسيلة الاختبار سهلة للتنفيذ. بوصولِ المكوّناتِ المثبّتة سطحياً، اصبح التثبيت من خلال الفتحات مستعمل أساساً للمقابس والوحدات ذات البلج أو ذات الحجم الكبير مثل المعالجات الدقيقةِ microprocessors تثبت في الاغلفة PGA.







تغليف ذو صفين من الاطراف يثبت من خلال ثقوب اللوح

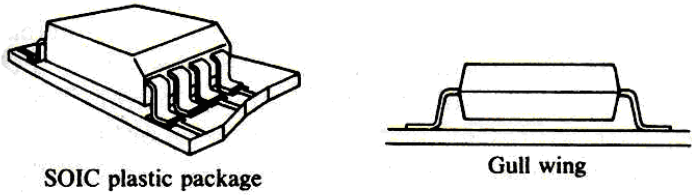
شكل رقم (١-٢٠) يوضح أغلفة العناصر التقليدية والتي تحتاج للثقوب الخلالية لتثبيتها على اللوح

أغلفة العناصر المثبتة من خلال الفتحات تُفضّلُ في أغلب الأحيان للدوائر المتكاملة ICs والمكوّنات الأخرى التي تستنفذ كميات كبيرة للحرارةِ، بسبب السهولةِ النسبيةِ مع ادوات التسريب الحراري يُمْكِنُ أَنْ تثبت بها. بالإضافة، من الأسهلُ كثيراً لتَزويد مقبس socket لعنصر التثبيت خلال الفتحات. هذا يخفّفُ مهمّةُ تغيير الأجزاءِ القابلة للبرمجةِ programmable parts والمعالجات الدقيقةِ microprocessors متى كان من الضروريُ ترقية أى نظام.

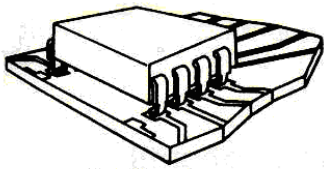
تحذير: الدوائر التكاملية المغلفة بتغليف العناصر المثبتة من خلال الفتحات تُصبحُ صعبة للإيجاد المكافيء ذو التثبيت السطحي ويَجِبُ أَنْ نتفاداها في التصميمِات الجديدةِ ما لم تكن المكوّناتِ متوفرة لحياةِ إنتاجَ التصميمِ.

١-٧-٢ تغليف العناصر السطحية Surface Mount devices:

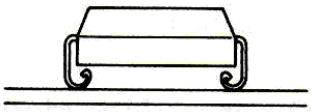
هذا النوعِ من التغليف هو الإختيارُ السائدُ لتغليف العناصر الإلكترونيةِ لكُلّ نوع، شاملاً المقابس. خاصيتها الاساسية هو أن كُلّ التوصيلات بين ارجل المكوّن واللوح المطبوع PCB أَو البنية التحتية substrate يُجْعَلها تتم مَع نقطة ربط ألى الوسادة على سطح اللوح المطبوع. وهذا لَهُ حسنات وسيئات. على جانبِ الفائدةَ، حيث ليس هناك فتحات مطلوب تَثْقيبها على اللوح المطبوع PCB، فضاء توزيع أسلاك على الطبقاتِ الداخليةِ وعلى الجانبِ العكسيِ لَمْ تُستَهلكْ بفتحاتِ ارجل العنصر. بسبب هذا، فإنه من المحتملُ عادة لرَبْط اللوح المطبوع PCB في طبقاتِ أقلِ عِنْ ما سَيَكُونُ حقيقيَ مع الأجزاءِ ذات التثبيت من خلال الفتحات. المنفعة الأخرى والأكبر هى حقيقة أنّ العناصر المثبّتة سطحياً دائماً أصغر مِنْ مكافئاتِها التقليدية، جاعلة من الممكن تثبيت أجزاءِ منها أكثرِ في نفس المنطقة المُعطية.



تغليف ذو صفين من الاطراف على شكل أجنحة طائر النورس يثبت سطحياً

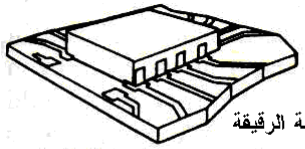


PLCC package



J-Lead

تغليف ذو صفين من الاطراف على شكل حرف J يثبت سطحياً



تغليف بدون أطراف بارزة و حامل للشريحة الرقيقة

LCCC leadless ceramic chip carrier

شكل (١-٢١) يوضح تكنولوجيا أغلفة عناصر التثبيت السطحي

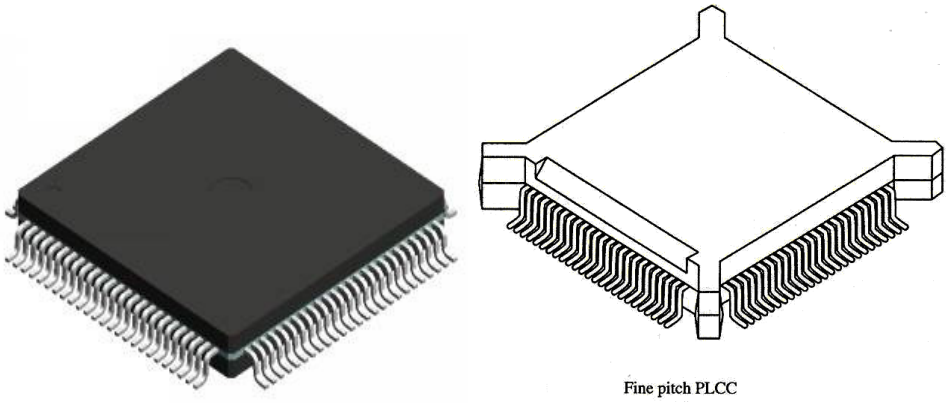
الأضرار الرئيسية للمكوّناتِ المثبّتة سطحياً تَنْجمُ من حقيقة أنه ليس هناك أرجل لإمْساكها بسهولة بمَسابرِ الاجهزة instrumentation probes والتي هناك قَدْ لا تَكُون وصولَ إلى الأدلّةِ مِنْ الجانبِ العكسي للأغراضِ لإختبار الإنتاجِ. هذا يُسبّبُ الحاجةِ لإضافة وسادة إختبارِ إلى أكثر الشبكاتِ على الجانبِ الخلفي لكي يُؤدّي إختبارَ إنتاجِ. يُسبّبُ هذا الحاجةِ أيضاً للوصلاتِ المعقّدةِ الغاليةِ جداً لكي تُزوّدَ الوصولَ إلى الأرجل على وحدات المعالجاتِ processors والعناصر المعقّدةِ الأخرى لتقصّي مدخلاتها ومخرجاتها عندما تُؤدّيانِ العملَ التشخيصيَ.

هناك ضرر آخر لحد الآن مِنْ الأجزاءِ المثبّتة سطحياً يَنْجمُ عن حجمِهم الصغيرِ. حيث نجد أكثر صعوبةً لإزالة الحرارةِ مِنْ أغلفة SMT عن العناصر المكافئة التقليدية. في البعضِ الحالات، مثل المعالجاتِ العالية الأداءِ، نجد أن الحرارة المولدة بواسطة الدوائر المتكاملة IC عالية جداً للسَماح للتشغيل الصحيحة في غلاف SMT.

١-٧-٣ التغليف ذو الخطوة الدقيقة Fine Pitch:

الخطوة الدقيقة Fine pitch هى صنف خاص مِنْ المكوّناتِ المثبّتة سطحياً. هذا الصنفِ مُمَيَّزُ بخطوات ارجل أقل من ٠،٦٥ من المليمتر (٢٥ مل) . خطوات هذه الارجل الدقيقة تكون عادة مدفوعة بعدد ارجل عالي جداً (160) ASICs ارجل دبوسية وأكثر أو بمتطلباتِ تصغيرِ متطرّفةِ

لبطاقات Pcmcia (جمعية صناعةِ بطاقةِ ذاكرةِ حاسوبِ شخصيةِ Personal Computer Memory Card Industry Association) و PDAs (personal digital assistants)، ومُنتَجات عالية الأداء صغيرة أخرى. الحافز لتَعيين صنف العنصر ذو الخطوة الدقيقة الخاصة من الاجزاء المثبتة سطحياً هو الصعوبةُ الإضافيةُ للاختبار بنجاح، والتَجميع، وإعادة التشغيل لهذه الأجزاءِ على PCBs، وكذلك في بناء PCBs مَع دقّة الأنماطُ المتكونة وقناع اللحامُ المُشَكَّلُ للتزاوج بأرجل الأجزاءِ ذات الخطوة الدقيقة. الأجزاء الدقيقة الخطوة هى مصدرَ أكثر الصِناعَات عيوباً في خطوط نظام تجميع SMT. تَنْجمُ العيوبُ عن قلةِ تماس الارجل لمستوى واحد coplanarity، انثناء الارجل، لحام غير كافي على نقاط التماس، وإصطفاف سيّئ للأرجل مع الأنماطِ على PCB.



شكل رقم (١-٢٢) يوضح أغلفة ذات خطوة دقيقة

يَتضمّنُ إستعمال الصناعةِ الناجحة لمكوّناتَ الخطوة الدقيقة تعاونِ ضيّقِ جداً بين مصممِ اللوح المطبوع PCB، وصانع اللوح المطبوع PCB، ومنتج المكوّن، والقائم على تجميع واختبار اللوح المطبوع. دائما يَتضمّنُ هذا تجميع مُتَخَصّص تقريباً، وإختبار، وادوات اعادة تشغيل tooling. التصميم هو المَعْمُولُ جداً في أغلب الأحيان بإجتِماع سلسلة من إجتماعاتِ موظفي هندسة كُلّ هذه المجموعاتِ لتَطَوُّير مجموعة القواعدِ، والعمليات، والأجهزة ، والادوات، والمكوّنات. تَحتاجُ هذه الإجتماعاتِ للبَدْء في مرحلةِ تطويرِ المُنتَجَ والاستمرار في التعرف على اشكال ومقاسات الوسادة المناسبة واستقرار طريقةَ الإنتاج .

١-٧-٤ تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة chip-on-board (COB) packaging

الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة Chip-on-Board, or COB ، يُشيرُ إلى تكنولوجيا تجميع شبهَ الموصل عن طريق التثبيت المباشر للرقاقةَ الدقيقة microchip أَو القالب (الكفة) والموصلة كهربائياً إلى لوح الدائرة المطبوعة النهائي، بدلاً مِنْ أنْ يَمْرَّ بالتجميع التقليدي أَو التغليف كدائرة متكاملة مفردة. إزالة الأداةِ التقليديةِ للتغليف مِنْ تجميع طريقة COB تُبسّطُ العمليةَ برمتها لتَصميم وتَصْنيعَ المنتج النهائي، بالإضافة إلى تحسّينُ أدائَه كنتيجة لطرقَ الترابطِ ذات الاطراف الأقصرِ ، الجدول رقم (١-٢) يوضح عائلة التغليف المباشر على اللوح.

المصطلح العامَ لتكنولوجيا COB في الحقيقة يعني ' الإرتباط المباشر للرقاقة '، أَو ' direct chip attachment', or DCA. ماعدا البطاقات الإلكترونية المستعملة في COB ، هناك ألواح بنية تحتية مُخْتَلِفة ومتوفرة للإستعمالِ في DCA. هناك، على سبيل المثال، ألواح بنية تحتية خزفية (سيراميك) وزجاجية خزفية التي تمتاز بخصائص العزل والحراريةَ الممتازةَ. بينما الواح البنية التحتية العضوية الأقل وزناً وتكلفةً والتي تعطي ثابت عزل منخفض تَجِدُها أيضاً مستخدمه. هناك أيضاً ألواح بنية تحتية مرنة flex substrates التي لَديها القدرةُ على الإنحْناء. تجميعات DCA أخذت عدد مِنْ الأسماءِ الأخرى غير 'COB' مستند على نوعية ألواح البنية التحتية المتوفرةِ، ومثال على ذلك: -، تثبيت الرقاقة على لوح بنية تحتية زجاجيَ يأخذ المسمي الانجليزي chip-on-glass (COG)، تثبيت الرقاقة على لوح بنية تحتية مرن يأخذ المسمي الانجليزي chip-on-flex (COF) ،.. الخ.

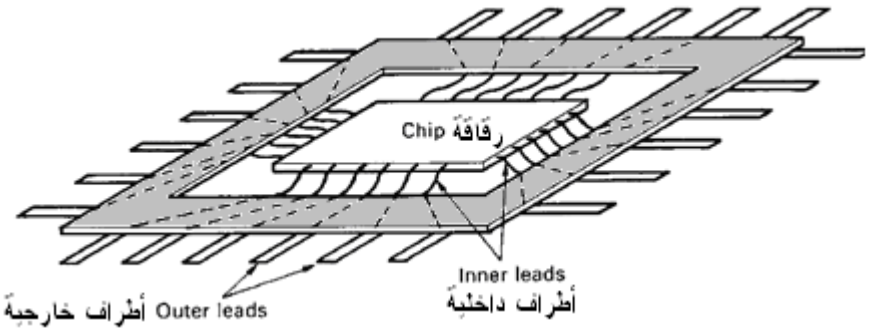
تتكون عملية COB فقط من ثلاث خطواتِ رئيسيةِ: ١) ربط أو تثبيت القالب أو الكفة die attach or mount ؛ ٢) الربط بالاسلاك wirebonding؛ و٣) كبسلة encapsulation الكفة أو القالب والأسلاكِ معاً.

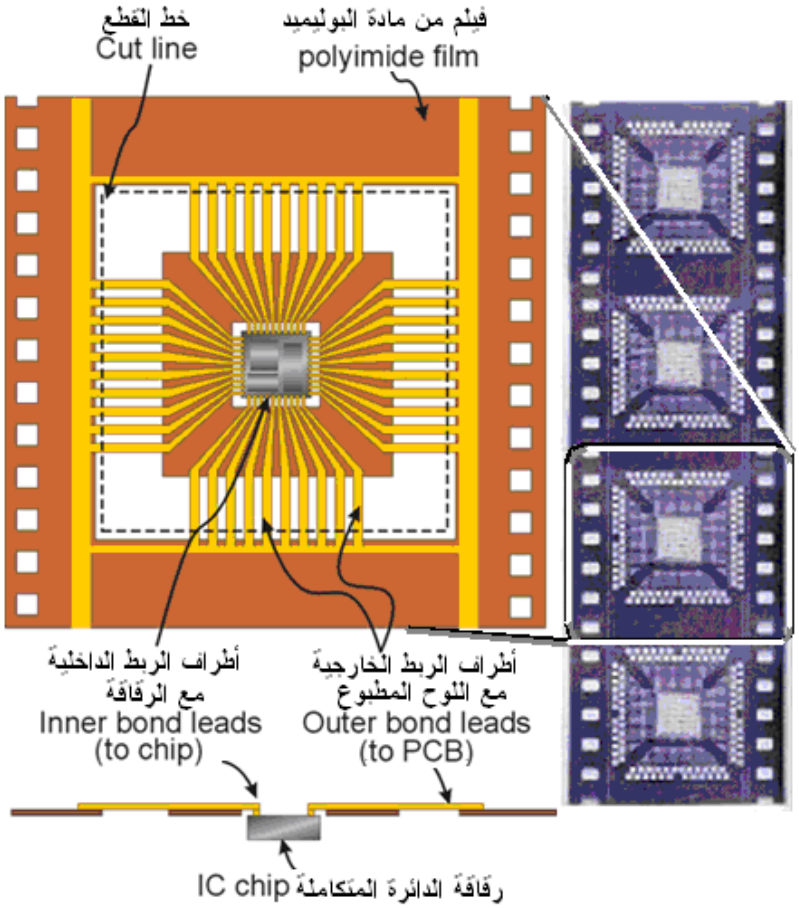
الجدول رقم (١-٢) يوضح عائلة التغليف المباشر على اللوح

Technology	SMD	Chip On Board		
		Wire Bonding	TAB	Flip_chip
Cross Section				
Packaging density	Low	Low _ Medium	Medium _ High	High
Time	Today	Future ⟶		

١-٧-٤-١ التغليف الشريطي TAB

ينسب المختصر TAB الربط الآليَ للشريطَ tape-automated bonding، حيث يعتبر تكنولوجيا للرَبْط العاري لكفة الدوائر المتكاملة IC إلى لوح الدائرة المطبوعة. وفيها يَستعملُ إطار الارجل المصغّرِة الذي يَرْبطُ مباشرة إلى وسائد اللصق لأى دائرة متكاملة IC عند نهاية واحدة، يَنتشرُ للخارج إلى خطوة أكبر بكثير، ويَرْبطُ بالوسائد على اللوح المطبوع PCB. إنّ الشريطَ في العنوانِ يَصِفُ الطريقةَ لحَمْل الأجزاءِ قبل التجميع، حيث الشريط بإطارِ ارجل والدائرة المتكاملة IC مثبتة إليه. يتم لف الشريطَ على بكرة لتداوله. إنّ تطبيقَ مبدأ مكوّناتِ الشريط TAB هى مُنتَجاتُ مثل أجهزةِ البيجر pagers والهواتفِ النقّالةِ portable phones التي تصنع في حجمِ عالٍي جداً ويُمْكِنُ أَنْ يُبرّرَ الأتمتةَ المتضمنة في رَبْط الأجزاء على الشريط إلى البنية التحتية.



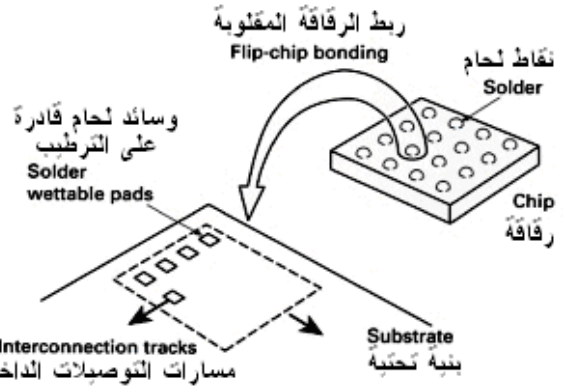


شكل رقم (١-٢٣) يوضح التغليف الشريطي TAB

١-٧-٤-٢ الرقاقة المقلوبة Flip Chip

الطريقة الاخرى لتجميع COB، هو الرقاقة المقلوبة على اللوح flip-chip on board (FCOB)، حيث لا يَتطلّبُ الربط بالاسلاك wirebonding ويُستخدمْ وسائد الرقاقة التى يتم قلبها حتى تتطابق هذه الوسائد مع نقاط الهبوط بلوح الدائرة المطبوعة شكل رقم (١-٢٤)، وكما هو واضح من قلب الرقاقة لجعل وجهها لأسفل في اتجاه اللوح سميت باسم الرقاقة المقلوبة 'flipchip' . وبعيداً عن الكبسلة encapsulation، من الضروريُ أيضاً الحشو اسفل الرقاقة 'underfill" لحِماية سطحِها النشطِ وصدماتِه مِنْ ضررِ الميكانيكا الحرارية و الدمار الكيميائي.

مِنْ هذا الوصفِ، يُمْكِنُنا أَنْ نرى هذا بأنه طريقة تغليف متخصصة جداً. تحْدثُ هذه الحالةِ تقريباً بشكل خاص في الاداء العالي جداً للحاسبات العملاقة حيث الدوائر المتكاملة ICs كَانتْ مصمّمة خصيصاً للتطبيقِ أَو في تطبيقاتِ الحجمِ العاليةِ جداً مثل أجهزةِ البيجر والهواتف الخلوية.



شكل رقم (١-٢٤) يوضح طريقة قلب الرقاقة ولحامها على اللوح المطبوع مباشرة

١-٧-٤-٣ القالب العاري المربوط بالاسلاك
Wire-Bonded Bare Die

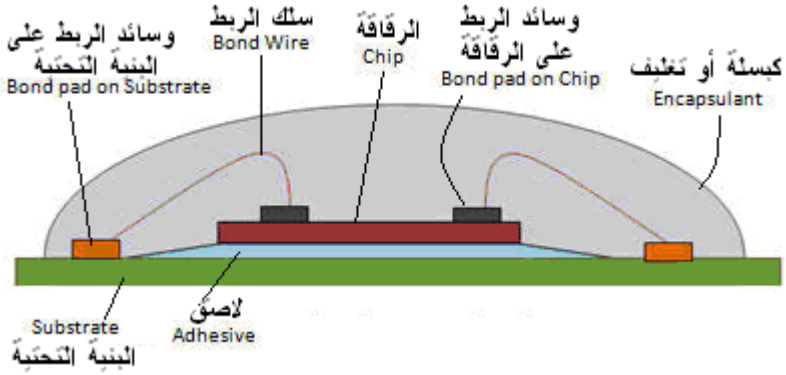
تتكون عملية COB في هذا النوع فقط من ثلاث خطواتِ رئيسيةِ:

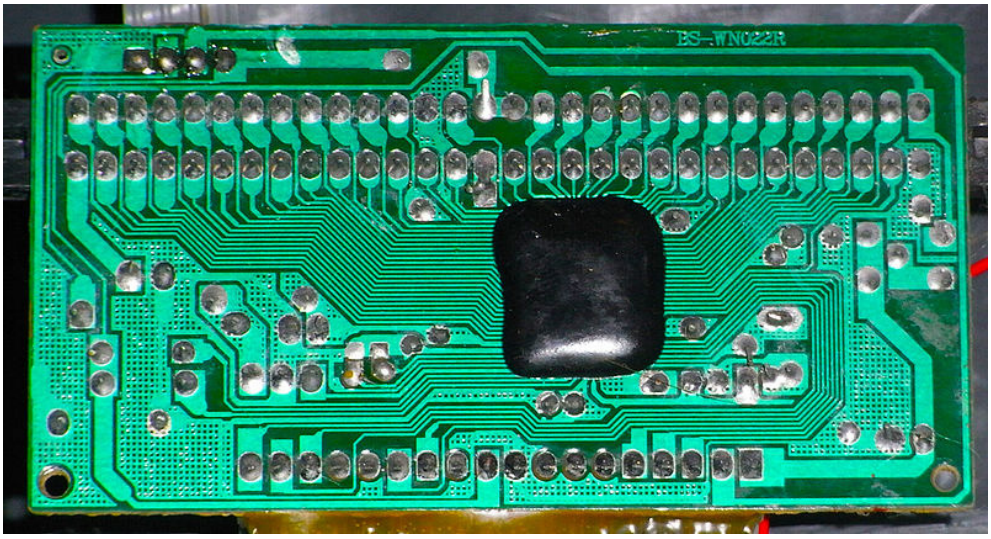
١) ربط أو تثبيت القالب أو الكفة die attach or mount ؛

٢) الربط بالاسلاك wirebonding؛ و

٣) كبسلة encapsulation الكفة أو القالب والأسلاكِ معاً.

بينما يَدْلُّ الاسمُ عليه، تَتضمّنُ هذه الطريقةِ مِنْ التجميع رَبْط كفة IC عارية بشكل مباشر إلى البنية التحتية substrate بإستعمال لاصق أَو معجون لحام وتوصيل وسائد الإلتِصاق bonding pads إلى الوسائد على PCB باستخدام تقنياتِ سلكِ الربط. عملياً كُلّ الساعات الإلكترونية digital watches والعديد مِنْ المنتجات الاستهلاكية المماثلة الأخرى تَستعملُ تقنيات التجميع هذه. وهى رخيصة جداً عندما تستعملَ في منتجات الحجمِ العاليِ جداً مَع فقط دائرة متكاملة مفردة لتوصيلها.





شكل رقم (١-٢٥) يوضح تغليف الرقاقة على لوح الدائرة المطبوعة مباشرة

١-٧-٥ تغليف مصفوفة الكرات الشبكية BGA

تعرف العناصر ذات التغليف BGA أو مصفوفة شبكة الكرات ball grid array على أنها تكنولوجيا جديدة نسبياً وهى تتقاطع بين مصفوفات شبكة الدبابيس والتثبيت السطحي. تثبت كفة الدائرة المتكاملة عالية الدبابيس على البنية التحتية لمتعددة الطبقات المصنعة من السيراميك أو مادة عضوية. يتم توصيل الكفة إلى البنية التحتية باستعمالُ الاساليب القياسية لسلك الربط وتغلّف في إبوكسي epoxy أو شكل آخر من أشكال الغطاءِ. الجانب السفلي للبنية التحتية يَحتوي أى مصفوفة لكرات لحامِ ذات درجةِ إنصهار عاليةٍ والتي يتم توصيلها بوسائد الربط السلكي wire-bond pads خلال البنية التحتية متعددةِ الطبقات. تتُزاوجُ هذه الكراتِ مَع مصفوفة مماثلة مِنْ الوسائد على اللوح المطبوعPCB ويتم لحامها بمعجون اللحام أثناء نفس العمليةِ مع كُلّ الأجزاء المثبّتة سطحياً الأخرى. (راجع الشكل رقم ١-٢٤)

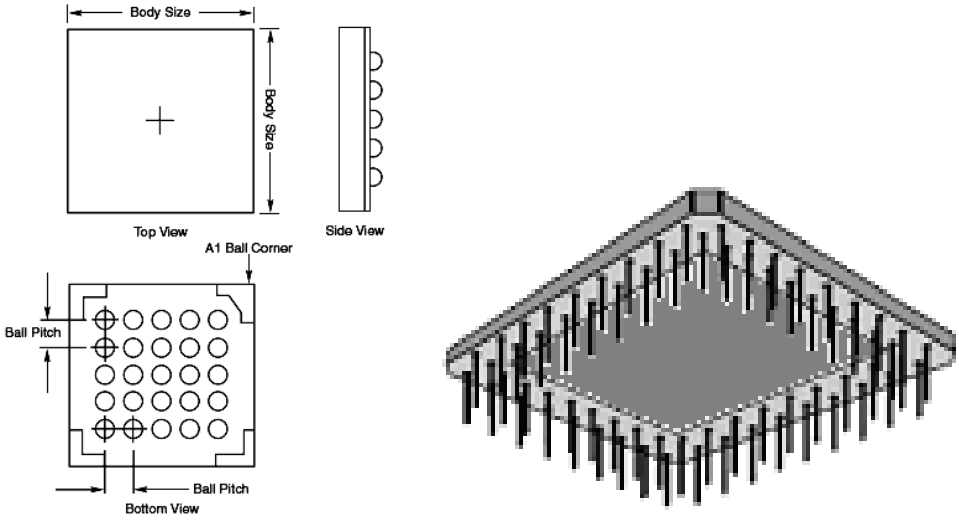
جاءت تكنولوجيا BGA كبديل للدوائر التكاملية ذات عدد الدبابيسِ العالية high-pin-count، وهى ذات الخطوة الدقيقة للعناصر سطحية التثبيت SMT من الدوائر المتكاملة ICs. كما هو مذكور في وقت سابق، نجد أن عملية تجميع غلاف العدد العالي للدبّابيسِ high-pin-count، للأجزاء سطحية التثبيت SMT ذات الخطوة الدقيقة صعبةُ جداً، بالاخص للطبيعةِ الهشّةِ لأطراف العنصر. تمثل العناصر BGAs تغليف متين للغاية أثناء إختبارِ مستويٍ العنصر وأثناء التجميع.

كَمَا هو الحَال مَعَ أغلب التقنياتِ، هناك بَعْض العيوب للأغلفة BGAs. كما يلي:

- نقاط اللحام تصبح مختفية عن النظر، لذا فإن فحصها يَتطلّب أشعة سينيةَ.
- نقاط اللحام تصبح غير سهلة الوصولَ لإعادة تشغيلها واصلاحها، لذا فإن عملية اللحام يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها نسبة نجاحِ عاليةِ جداً.
- إزالةُ هذا الجزءِ يتطلب أدوات خاصة.
- النمط على سطح اللوح المطبوع PCB عبارة عن مصفوفة من الوسائد التي تتطلّبُ مسارات خلال اللوح المطبوع PCB، مما يُعيقُ التوجيه routing .
- كُلّ ارجل العنصر مُرَكَّزة في منطقة أصغر بكثير مِنْ الجزءِ المكافئِ في أغلفة العناصر سطحية التثبيت ذات الخطوة الدقيقة. هذا يركز توزيع الأسلاك في منطقة صغيرة مثقبة مَع

الكثيرِ من نقاط العبور vias. كنتيجة، اللوح المطبوع PCB BGA لديه طبقاتُ توزيع أسلاك أكثرِ من المكافئة للوح المطبوع SMT PCB.

- الغلاف BGA أغلى مِنْ الغلافSMT المكافيء ذو الخطوة الدقيقة، بمقدار ثلاث مراتِ.



شكل رقم (١-٢٦) يوضح تكوين مصفوفة شبكة الكرات ball grid array

الباب الثاني

أساليب

نقل وطباعة الصورة

Image Transfer and print Techniques

الباب الثاني

أساليب نقل وطباعة الصورة
Image Transfer and print Techniques

٢-١ ماذا نعني بنقل الصورة ؟

يَتضمّنُ نقلُ الصورةِ بشكل اساسي، نقلَ نمطٍ أو شكل الموصلات والوسائد النحاسية مِنْ الفيلمَ الاصلي master film (ناتج عملية التصميم على الحاسب) إلى مادّةَ أساسيةَ مغطاة أو لها قشرة نحاسية copper clad base material أَو أيّ معدن آخر يَكْسو لوح مدعوم metal clad laminate. في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة PCB، هناك طريقتان شائعتان لنقل الصورةِ هما:

١. طريقة الطباعة الضوئية Photo printing method ؛ و
٢. طريقة الطباعة بالشاشة Screen printing method.

الطِباعَة الضوئية Photo Printing :

هذه العمليةُ دقيقةُ جداً، حيث تطبق عموماً في صناعة أشباهِ الموصلات والدوائر التكامليةِ لتحقيق أعراضِ موصلات بشكل نموذجي في حدود بضعة ميكرونات. بالرغم من أن مثل هذه التكنولوجيا الدقيقةِ لَيستْ مطلوبة في إنتاجِ ألواح الدوائر المطبوعة ذات الغرضِ العامِّ، إلا أن أعراض الموصلات ذات القيمة ١٠٠ ميكرون تكون مطلوبة لألواح الدوائر المطبوعة PCBs ذات التطبيقاتِ المحترفةِ، ولذا نلجأ لعملية الطباعة الضوئية.

الطِباعَة بالشاشة Screen Printing:

بالرغم من أنها أقل دقة مِنْ عمليةً الطباعة الضوئية، إلا أن الطِباعَة بالشاشةِ تعتبر طريقة رخيصة وبسيطة نِسْبياً. ويجدر بالذكر أن أغلبيةُ ألواح الدوائر المطبوعة PCBs التي انتجت حول العالم كانت مطبوعة بواسطة الشاشات.

٢-٢ تجهيز سطح اللوح المدعوم
Laminate Surface Preparation:

يلعب السطح النحاسي دوراً رئيسياً في انجاحِ عمليةِ نقلِ الصورةَ. حيث يتطْلبُ ذلك ضرورة فحص السطح بعناية والتأكد من عدم وجود حُفَرٍ، وعوادم تثقيب وأيّ أنواع أخرى مِنْ المخلفاتِ. إذا لوحظ عيوبِ غير مقبولة، فإن عملية نقلِ الصورةَ لا يَجِبُ البدء في تنفيذها إلا بعد التخلص من هذه العيوب التي قد تكون عقبة في انجاح نقل الصورة. لذا، حتى تأخذ عملية نقلِ الصورةَ مكانها، لابد من تنظيف السطحِ النحاسيِ قبل أن يُقاومُ تطبيق عملية نقل الصورة وهذه تعتبر خطوةُ ضروريةُ لأيّ نوع من أنواع عمليات اللوح المطبوع PCB.

قد تظهر وتتزايد الصعوباتُ في أغلب الأحيان عند صناعةِ PCB بسبب التنظيف الغير كافيٍ لسطح اللوح المدعوم. لذا، فإن اللوح المدعوم يَجِبُ أَنْ يَكُونَ خالي من النفطِ، والدهون، والغبار، وبصمات الأصابع والجزيئات الغريبة. ومن المصادر المحتملة التي تُسبّبُ تلوّثاً، الادوات والأجهزةَ المستعملة في عملية القَصّ، والتثقيب، والتخريم أَو مرورهواء مِنْ الضاغطِ الهوائي. أيّ تلوّث على سطحِ اللوح المدعوم قَدْ يُضعفُ إلتصاقَ البوليمر الضوئي photopolymer أَو يَنْقصُ من قدرة إلتِصاق النحاسِ المرسب كهربياً. لِذلك، فإنه يتطلب طرق تنظيف جيدةِ جداً لتَهْيِئة سطحِ اللوح المدعوم.

ومن طرق التنظيف الشائعة الاستخدام ما يلي:

(i) عملية تنظيف يدويةِ — وهذا يَتضمّنُ:

- التنظيف الكيميائي؛ و
- تفكيك الدهون (بالبخار أَو المائي aqueous)

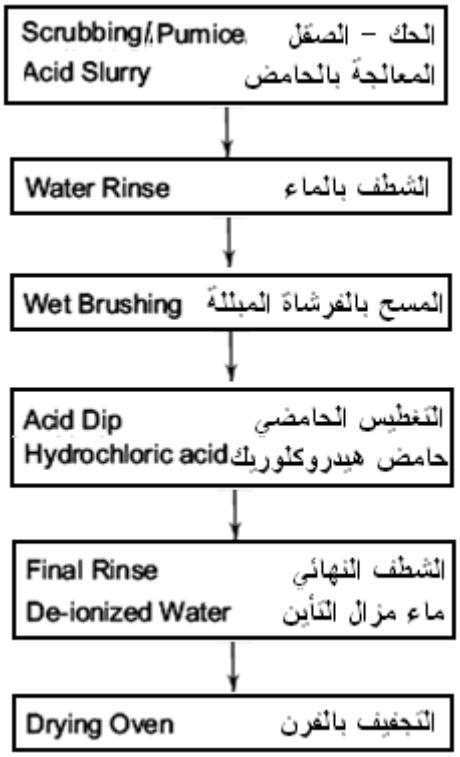
(ii) التنظيف الميكانيكي.

٢-٢-١ عملية التنظيف اليدويةِ

٢-٢-١-١ التنظيف الكيميائي:

ينحصر استعمال التنظيف الكيميائيٍ في إستعمالِ المواد الكيميائيةِ القلويةِ alkali chemicals المُرَكَّزةِ لأزالة النفطَ، وجزيئات التربةَ والدهونَ من على سطحِ اللوح المدعوم. ويتراوح تركيزَ المادة

الكيميائيةِ القلويةِ ما بين النسبتين ٨٠-١٠٠ % في حيز درجةِ حرارة بين ٦٠ سنتيجراد و ٧٠ سنتيجراد لفترة استعمال زمنية تقدر بحوالي عشرين إلى ثلاثين دقيقة لتنظيف الألواح المدعومة. بعد عمليةِ النقع القلويةِ هذه، يُشْطَفُ اللوح المدعوم بشكل مؤثر مَع ماءَ حنفيةِ مرشح خالي من الزيوت. الغمر في الماءِ، يليه الرش برذاذِ الماءِ القويِ، لضمان الازالة الكاملة للمنظفات. تفضل المنظفات الطبيعية أَو الحمضية أحياناً وذلك بسبب هجومِ المحاليل القلويةِ الساخنة على البنية التحتية الابوكسية epoxy أَو البوليمدية polyamide المكشوفة.


Scrubbing/Pumice الحك - الصقل
Acid Slurry المعالجة بالحامض
Water Rinse الشطف بالماء
Wet Brushing المسح بالفرشاة المبللة
Acid Dip التغطيس الحامضي
Hydrochloric acid حامض هيدروكلوريك
Final Rinse الشطف النهائي
De-ionized Water ماء مزال التأين
Drying Oven التجفيف بالفرن

شكل رقم (٢-١) يوضح عملية النظافة اليدوية البسيطة

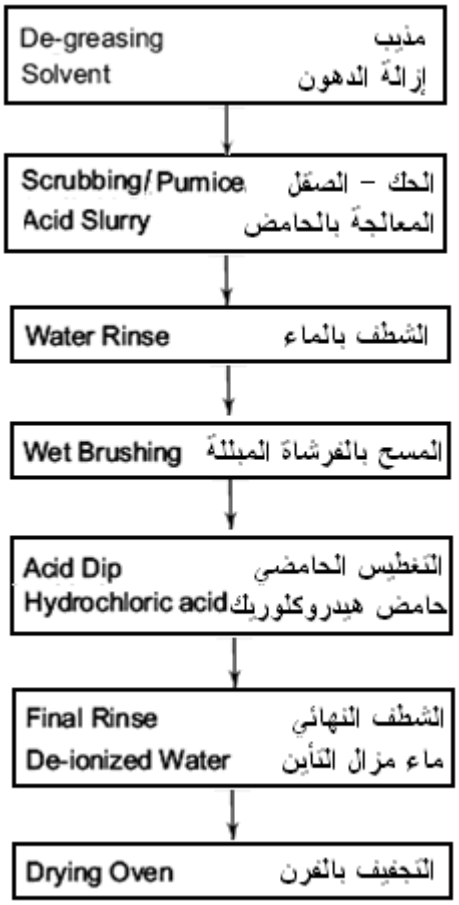
الخطواتَ التالية لعمليةِ التنظيف الكيميائيةِ موضحة بالشكل رقم (٢-١). وهى:

- تفكيك الدهون بمنظفِ نقع دافيء؛
- الشطف بالماءِ (إستعمال ماءَ مضغوط بأكثر مِنْ ٤ bar أَو ٦٠ psi)؛

- الرش برذاذ الماءِ؛
- الحفر الدقيق للنحاس (إختياري)؛
- الشطف بالماءِ؛
- الفحص (للتأكد مِنْ الازالة الكاملة للنفطِ والدهونِ)؛
- التغطيس الحمضي (المعادلة)؛ و
- الشطف بالماءِ.

٢-٢-١-٢ تفكيك الدهون (إزالة الشحوم) بالبخار
Vapour De-greasing

تَتضمّنُ هذه العمليةِ تنظيف الألواح المدعومة laminates بتَكْثيف بخار مذيب نقي. هنا، يُدفع المذيب الغير قابل للإشتعال مثل: الفلورو كلورو كربونات fluorochlorocarbons (أو ثلاثي كلورو إيثلين trichloroethylene أَو بير كلورو إثيلين perchloroethylene) إلى درجةِ غليانه في مدي مزيل الشحوم بالبخار vapour de-greaser. هذا المزيل (المذيب) يعمل على تفكيك الدهون بالبخار من ملوثات السطح للوح المدعوم. الشكل رقم (٢-٢) يوضح عمليةَ التنظيف بمذيب فك الدهون. حيث الخطوةَ الأولى تتم بالفْركَ بقطعة قماش للتنظيف بلطف، ثم النَقعَ في مذيب، بكامل منطقةِ اللوح المطبوع PCB. تقوم المذيبات solvents بفعل مزيل الدهون degreasers ولا تتفاعل كيميائياً مع الموادِ المراد ازالتها. هذه الخطوةِ متبوعة بالحَكّ scrubbing بمحَلول الملحَ salt solution أَو الحجر الاسفنجي pumice كما يظهر بالشكل (٢-٣)، الذي يؤدي إلى إزالة المادة اللا عضويةِ مثل الجسيمات والدقائق particulates والأكاسيدات oxides، وتساعدُ في تفكيك الدهون إلى حَدّ معين. بينما الخطوة التالية هى الشطف بالماء للألواح المطبوعة PCBs وبعد ذلك إزالة الجزيئاتِ الرفيعةِ المتبقية من الحجرِ الاسفنجي pumice بفرشاة التَنظيف. بعد إتمام عملية التنظيف بدقة، يجب أن يحمل لوح الدائرة المطبوعة PCB المُنَظَّف فقط من الحواف مع ضرورة ارتداء القفازاتِ اليدويةِ المطاطيةِ بقدر الإمكان.



شكل رقم (٢-٢) يوضح عملية النظافة اليدوية باستخدام مذيب إزالة الدهون

شكل رقم (٢-٣) يوضح الحجر الاسفنجي المستخدم في حك سطح لوح الدائرة المطبوعة في عملية التنظيف

لإزالة القلوي المتبقي residual alkali والأكاسيد المعدنيةِ metallic oxides، وإعداد السطح لنقلِ الصورةَ، يتم تغطيس اللوح في حامض هيدروكلوريك hydrochloric acid (١٠ في المائة). يفضل تنفيذ عمليةَ التشطيفِ النهائيةِ بإستعمال الماءِ المزال التأينde-ionized water. بينما الشَطْف بماءِ الحنفيةِ قَدْ يُؤدّي إلى خطرِ إعادة التلوث الناتج من شوائبِ الماءِ. الخطوة النهائية من عملية التنظيف هو التجفّيفُ drying الذي يتم عموماً بنَفْخ الهواء المضَغوطَ على سطح اللوح المدعوم. يَجِبُ أَنْ يكونَ النظام المَضْغُوط لديه مرشِح في إنبوبِ هوائي لتَفادي التلوّثِ خلال الزيت مِنْ الضاغطِ. وهو في أغلب الاحيان مرغوبُ للإبْقاء على لوح الدائرة المطبوعة PCB في أى فرنِ لمدة خمسة عشْرة دقيقة تقريباً عند درجة حرارة مقدارها ٩٠ سنتيجراد للتَجفيف الكاملِ.

يجدر بالذكر أن أبخرةَ المذيبات solvents سامّة، ومعروفة حتى على أنها ملوثات هوائية air pollutants . لذا، عندما نعمل مَعها، يجب العناية وعدم استنشاق هذه الأبخرةَ. ويجب أن نطمئن من تحقيق دورة هواء كافية لكي لا يتجاوز أقصى تركيز للبخارِ المقدار ١٠٠ ppm.

يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تُنجَزَ عملية تفكيك الدهون De-greasing بإستعمال محلول تنظيف بالنقع soak cleaning solution حيث يتفاعل كيمياوياً مَع النفايات العضوية. فهو يُزيلُ الزيوتَ والشحوم تماماً بشكل كفوء، بدون أن يسبّب تهديدِ بأيّ تلوث هوائي حادّ.

عمليةِ تفكيك الدهون بالبخار هى عملية أكثر تطوراً من عمليةِ التنظيف بمذيب بارد cold solvent cleaning process لأن الألواح المدعومة دائماً يتم غسلها بمذيب نقيpure solvent . يتم تسخين أجزاءَ تفكيك الدهون لنقطة غليان مذيب مفكك الدهون. لذا فإن الالواح المدعومة تجفُ أسرع مِنْ تجفيف الالواح المدعومة المنظفة بالمذيب البارد. وتتوفر أيضاً أجهزة تفكيك الدهون بالبخار بنظامِ التفعيل الفوق الصّوتي ultrasonic agitation system حيث يتم تفعيل الأجزاء بواسطة الموجات الصوتية.

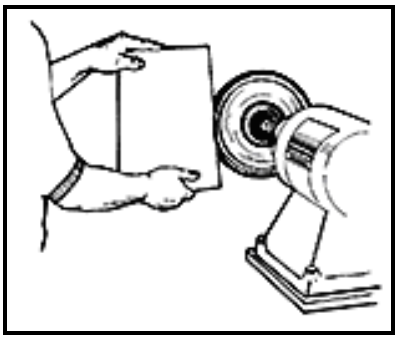
٢-٢-٢ التنظيف الميكانيكي Mechanical Cleaning

في عمليةِ التنظيف الميكانيكيةِ، تنظّفُ الألواح المدعومة بشكل نموذجي بوحدات التنظيف ذات الفرشاةِ القاسيةِ (السلكية) abrasive brush التي تَستخدمُ المواد الحاكّةَ مثل الحجرِ emery، والكوراندوم corundum، وأكسيد الألومنيومِ aluminium oxide وكربيدِ السيليكون silicone carbide. هذه الموادِ القاسيةِ تكون مُلَفَّحة (مشبعة) بالنايلون أَو مصفوفة بلاستيكية مماثلة. حيث يمكن أن يكون بناء الفرشاةِ الناتجِة أمّا لاميلا مضغوطة compressed lamella أَو نوع شُعَيري filament type . تستخدم فرشاة شعيرات قاسية من كربيد السيليكونَ تُستَعملُ عموماً لتنظيف السطحِ النحاسيِ قبل تثبيت الفيلمِ الجافِ المقاوم dry film resist. هناك أنواع مختلفة مِنْ عملياتِ التنظيف الميكانيكيةِ. مثل:

- التَلميع Polishing؛ و
- التَنظيف بالفرشاة Brushing؛ و
- الصَقْل Buffing أَو الصنفرة sanding؛ و
- إزالة الرايش حول الفتحات Deburring أَو الحَكّ scrubbing؛ و
- الحَكّ scrubbing

٢-٢-٢-١ التلميع Polishing:

هذه العمليةِ تَتَضمّنُ تنعيم smoothening السطحِ المعدنيِ لتَحسين مظهره. ولعمل هذا، تستعمل عموماً عجلاتِ تَلميع (من قماش الشاش) كما يظهر من الشكل رقم (٢-٤) التالي.



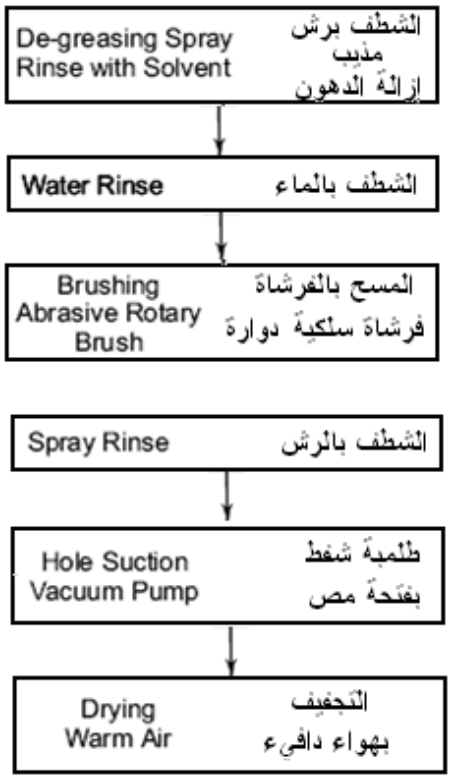
شكل رقم (٢-٤) يوضح عجل التلميع المصنع من قماش الشاش

٢-٢-٢-٢ التنظيف بالفرشاة Brushing:

هذه العمليةِ هى عبارة عن تشغيل تنعيم المعدن metal smoothening operation الذي يتضمن الفرش السلكية الغير معدنية الدوارة rotary non-metallic wire brushes مثل فرشِ النايلونِ nylon brushes كما بالشكل رقم (٢-٥). عموماً تعمل فرشَ السلكَ وهى رطبة. للتشطيب المتبلد جداً، يستعمل الطين الحجري pumice slurry للدرجةِ 3F أَو 4F مع الماء. بالرغم من أن أداءِ التنظيف بِالنسبة إلى الأكاسيد الثقيلةِ heavy oxides والتُرَبِ المعدنيةِ metallic soils الأخرى بالإضافة إلى إزالةِ المواد الجزيئية ممتاز، إلا أن إزالة التُرَبِ العضويةِ organic soils مثل الزيوتِ والدهون لَيستْ كاملةَ. في الحقيقة، البعض مِنْ هذه النفايات soils تكون محفوظة في الفرشِ. لذا، فإن خطوة تفكيك الدَهْن بأى مذيب يكون موصّى بعملية تنظيف الفرشاة قبل التَنظيف.

الشكل رقم (٢-٦) يوضح مخططَ عملية تنظيف مثالية بالمادة الحاكّةِ يُنظّفُ لحجمِ عالٍ من انتاج لوح الدائرة المطبوعة PCB بفتحات خلالية مَطْلية.

شكل رقم (٢-٥) يوضح بعض من الفرش المستخدمة في عملية التنظيف



شكل رقم (٢-٦) يوضح عملية التنظيف بفرشاة صنفرة لكمية عالية من انتاج PCB بفتحات خلالية مطلية PTH .

٢-٢-٢-٣ الصقل أو الصنفرة Buffing or Sanding

يَدْلُّ الصَقْل على أنّ السطحَ المعدنيَ يتم صقله بالعجلةِ القماش (ذات النسيج القطني الرقيق muslin wheel)، للحُصُول على مستوى تشطيب ذو لمعانِ منخفض إلى تشطيب ذو لمعانِ عالٍ. وهذه الطريقةَ تزيل الإتساخات الغير عضوية الثقيلة والمشاكل الجزيئية، وتُساعدُ أيضاً على إزالة الحروق حول الفتحاتِ المَثقبة. يمكن تنفيذ الصَقْل مَع الهزّاز اليدوي الكهربي كما بالشكل رقم (٢-٧).

شكل رقم (٢-٧) يوضح عملية الصَقْل مَع الهزّاز اليدوي الكهربي

٢-٢-٢-٤ إزالة الرايش حول الفتحات :deburring

بعد أن يصبح اللوح مثقب أو مخرم، يلاحظ تكون الرايش حول الفتحات. ورايش الفتحات هذا هو بروز زوائد حادة من المعدن حول محيط الفتحة الناتجة من عملية ثقب لوح الدائرة المطبوع. حتى لو استخدمت أفضل بنط الثقب وأفضل ماكينات الثقب، فإننا لا نستطيع تجنب ظهور الرايش الحاد burr، خصوصاً على الجانب الذي تخرج منه بنطة الثقب. وعندما تكون هذه الفتحة مخطط لها الطلاء مستقبلاً بالمعدن فإنه لابد من ازالة هذا الرايش بالكامل. وهذا ما يتم عادة بواسطة صنفرة التنظيف. الماكينة المستعملة في ازالة الرايش حول محيط الفتحات تتكون من عجلة ازالة الرايش (كربيدَ السيليكون المنصهر) التي تستَعملُ لإزالة رايش الفتحات على اللوح المدعوم. هذه العمليةِ تُنفّذُ فقط في تواجد الظروف الرطبة. تتضمن عملية الصنفرة sanding (الازالة الرطبة للرايش) مادة حاكّة مقاومة للماء.

٢-٢-٢-٥ الحَكّ scrubbing

ينفذ الحك بالفرشاة اليدوية كما بالشكل رقم (٢-٨) أو الفرشاة الدوارة السريعة المصنعة مِنْ الشعيرات البلاستيكيةِ الدقيقة التي تغذي بمادة سلوري slurry القاسية. وتجهز مادة سلوري slurry بإضافة مسحوقِ الحجرِ إلى الماء وعموماً يعاد توَزَّيعها مرة ثانيةً. تنفذ دورة تشطيفِ بالماء لضمان الإزالةِ

الكاملةِ للمشاكل الجزيئيةِ. تُزوّدُ مثل هذه المكائنِ بتشطيب سطحي ممتاز لاسطحِ لوح الدائرة المطبوعة.

شكل رقم (٢–٨) يوضح الحك بالفرشاة مع مسحوق الحجر والماء

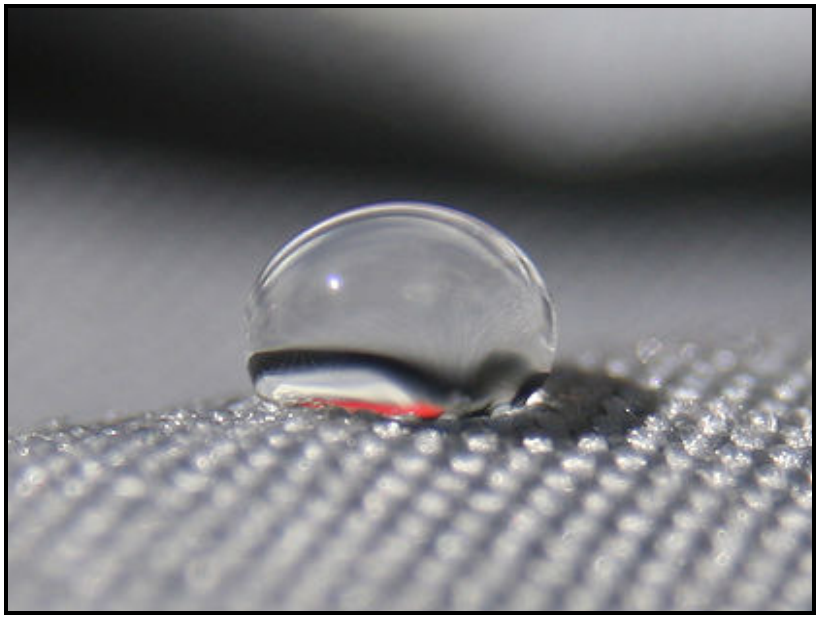
في كُلّ الطرقِ أعلاهِ، بَعْدَ أَنْ يتم تنظيف اللوح المدعوم، يتم شطف الألواح بالماءِ عند مستوى ضغط عال (٦٠< psi) ويجفّفَ بهواءِ ساخن مدفوع. عادة، كُلّ العمليات الميكانيكية تَتضمّنُ ماكينات آلية أَو نصف آلية. أثناء هذه العملياتِ، قد تزال المادّة الأساسية التي، بدورها، تعمل على تخفّيضُ الخواص الكهربائيةَ للألواحِ. لِذلك، فإن المراقبة الصارمة للعملية مطلوبةُ.

٢-٢-٣ إختبار النظافةِ

لكي يَختبرَ مدى جودة عمليةِ التنظيف، يمكن اجراء إختبارِ مدى إستقرار ماءِ العملية على السطح المنظف للمادة. نظافة السطحِ النحاسي يُمْكِنُ أَنْ يعبر عنها بدلالة زاويةِ التماس والترطيب.

<u>الترطيب Wettability:</u> هو مقدرة السطح النحاسي النظيف على حمل طبقة مستمرة مِنْ الماءِ النظيفِ لفترة زمنية مقدارها مِنْ ١٥ إلى ٣٠ ثانية. يَجِبُ أَنْ لا تتفت طبقة الماءَ المستمرة إلى قطراتَ ولا إلى مناطقُ مكشوفة من إعادة الترطيب de-wetting أثناء هذا الإختبار. إذا تفتت وتبعثر الماءَ، فإن هذا يُشيرُ إلى أنّ عمليةَ التنظيف لَيستْ كافيةَ.

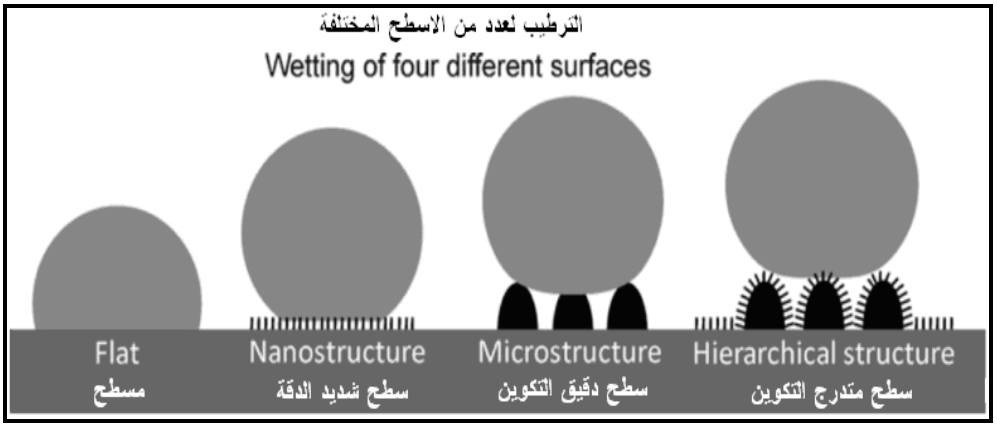
المقدرة على الترطيب Wettability أَو الترطيب wetting هى العمليةُ الفعليةُ لقدرة السائل على الانتشار على سطح البنية التحتية أَو المادّة الصلبة. يُمْكِنُ التعرف علي مقدرة الترطيب Wettability بواسطة تحديد زاويةِ التماس contact angle أَو حْسابُ معاملَ الإنتشار spreading coefficient شكل رقم (٢-٩). الترطيب أَو الإنتشار لسائل على سطح مادّة صلبة يَعتمد على خواص السطح الصلب بالإضافة إلى خواص السائلِ المستعمل. لذا، بمُعَالَجَة خواص الاسطح فإنه يُمْكِنُ تُحسّينَ وظيفةَ أَو أداءَ السطح أَو المادّة الصلبة للغرضِ المنشودِ. وبنفس النمط، إذا لم يؤخذ تَعديل الخواص للسطح الصلب في الحسبان، فإنه يُمْكِنُ أَنْ يُعالجَ خواص سائلِ الإهتمامِ لإنْجاز ظروف الترطيب المطلوبةِ الشكل رقم (٢-١٠) يوضح اختلاف اسطح المواد المختلفة.



شكل رقم (٢-٩) يوضح تعثر انتشار نقطة ماء على سطح مادة نسيجية

أمثلة التطبيقاتِ حيث تلعب المقدرة على ترطيب سطحِ صلبِ wettability دوراً حاسماً مايلي: زراعة الاجزاء body implants، العدسات اللاصقة contact lenses، المواد الحيوية biomaterials، عمليات الطباعة بالأوفسيتِ offset printing processes، التغليف packaging، طبقات أشباه الموصلات semiconductor wafers، مُنتَجات إلكترونية

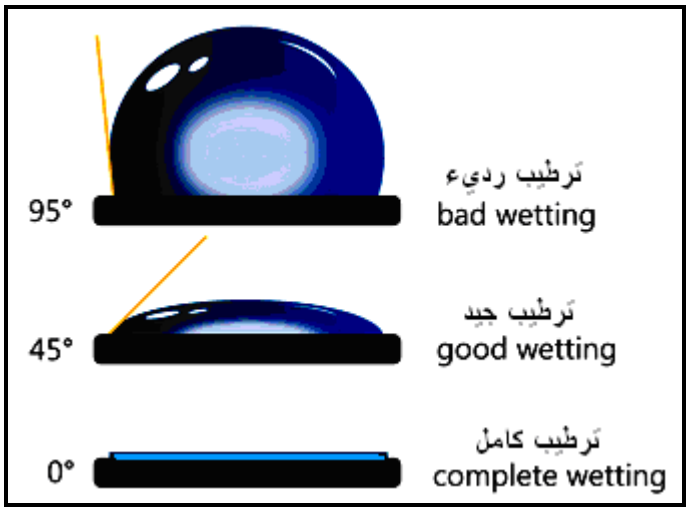
electronic products، نمو الطبقات الحيوية biofilm growth، الأنسجة fabrics، الاسطح الصعب ترطيبها superhydrophobic surfaces، الاسطح ذات التنظيف الذاتي والغير لاصقة self-cleaning and non-sticky surfaces. بالإضافة، كَمَا هو الحَال مَعَ الاسطح العيانيةِ macroscopic surfaces، فإن القدرة على الترطيب wettability للأجسامِ الأصغرِ مثل الألياف، والجزيئات الميكرونية والنانونية تلْعبُ دوراً مهماً في الإستقرارِ والأداءِ للعديد مِنْ المُنتَجاتِ، مثل المركّباتِ والدهانات والطلاءاتِ والأحبارِ ومستحضراتِ التجميل والمواد الصيدلانيةِ ومنتجات غذائية.



شكل رقم (٢-١٠) يوضح درجة الترطيب لعدد من الاسطح لمواد مختلفة

زاوية التماس هي البارامترُ الأساسيُ لتحديد المقدرة على الترطيب wettability.

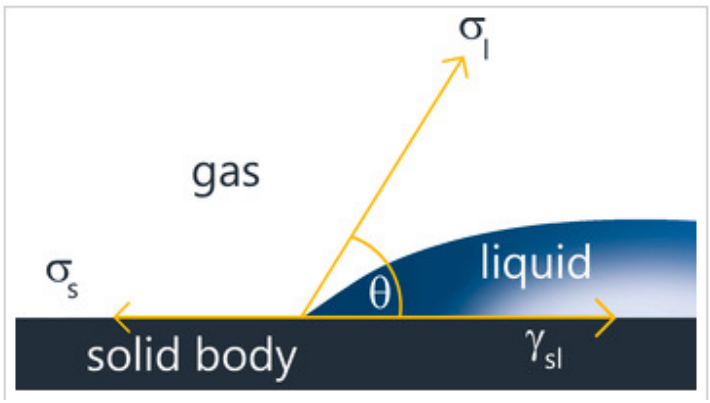
في حالة الترطيب (الإنتشار) الكامل، نجد أن زاوية التماس ٠ °. الزاوية بين ٠ ° و٩٠ °، نجد أن السطح الصلب قادر على الترطيب wettable وفوق الزاوية ٩٠ ° يكون غير قادر على الترطيب wettable. في حالة المواد الفائقة الصعوبة للترطيب ultrahydrophobic ، تقتربُ زاويةُ التماس مِنْ الحدِّ النظريِ ١٨٠ ° الشكل رقم (٢-١١).



شكل رقم (٢-١١) يوضح زاوية التماس على أسطح مواد مختلفة

طبقاً لمعادلةِ يانج Young's equation، هناك علاقة بين زاويةِ التماس θ، الشَدّ السطحي surface tension للسائل σ_l ، التَوَتّر الوجهي interfacial tension γ_{sl} بين السائل والسطح الصلب والسطح الصلب الخالي من الطاقة (شد السطح الصلب) σ_s كما بالشكل رقم (٢-١٢):

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos\theta$$



شكل رقم (٢-١٢) يوضح بارامترات زاوية التماس

٣-٢ الطِباعَة بالشاشةِ Screen Printing

تعتبر الطباعة بالشاشة أحد التكنولوجيات المستخدمة من قديم الازل للطباعة على الملابس، والالواح وهكذا ووصلت درجة دقتها إلى الدرجة القصوى عند استخدامها في صناعة ألواح الدوائر المطبوعة. بعد عام ١٩٦٥، اعتقد الصناع أن اسلوب " نقل الصورة الفوتوغرافية photographic image transfer " سيحل محل الشاشة لأغلب أنواع الواح الدوائر المطبوعة حيث أدى ظهور " مقاوم الضوء الصلب solid photoresist " (حوالي عام ١٩٧٠) إلى تدعيم الاسلوب الفوتوغرافي الذي أصبح ابسط أداءً من الطباعة بالشاشة. على أية حال، بعد بعض سنوات من الحماس المتواصل، أكتشف أكثرية صناع الدوائر المطبوعة أنه في عديد من الحالات أن الدقة المتزايدة لنقلِ صورةِ مقاوم الضوء photoresist image transfer ما كَانتْ تساوي التكلفةَ المتزايدةَ. ولحين التمكن، عاد الصناع مرة أخرى لاستخدام اسلوب الطباعة بالشاشة، التي مازالت الاسلوب الاقتصادي لنقل الصورة.

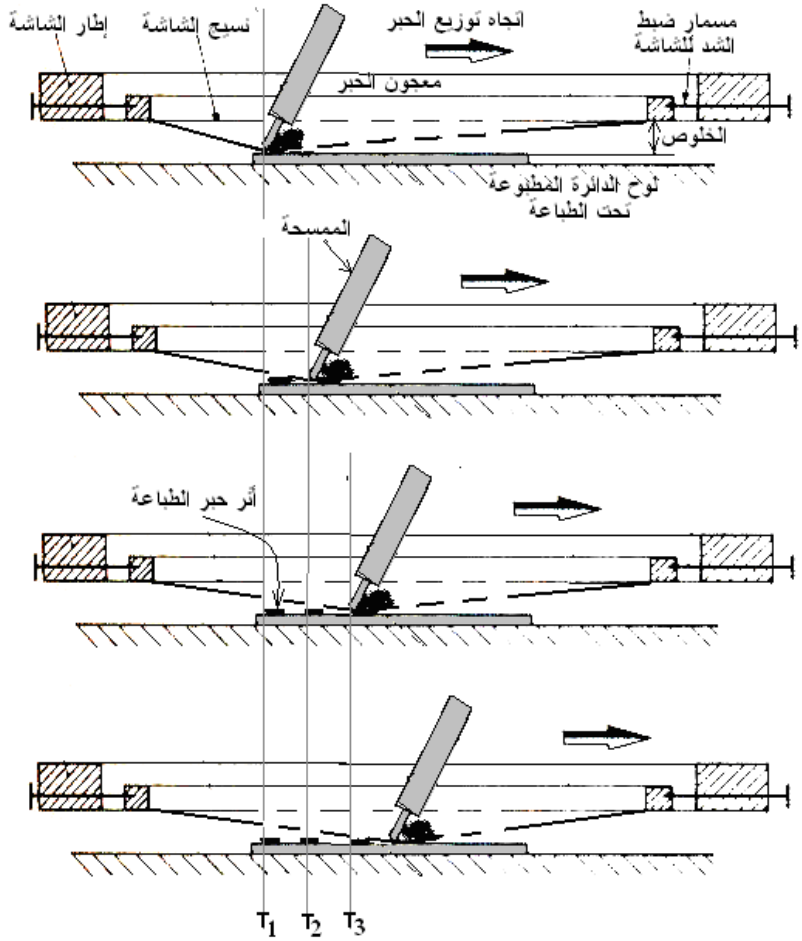
تنتقل الصورةَ الفوتوغرافية إلى النحاسِ القشري للوح المدعوم بواسطة تكنولوجيا الطباعة بالشاشة. هذه التكنولوجيا إستعملتْ لوقت طويل للطِباعَة على القماشِ، وألواح التشغيل وهكذا، وتَصِلُ درجتها القصوى للدقةِ عندما يتم تطبيقها في صناعةِ ألواح الدوائر المطبوعة. هذه التكنولوجيا مهيئة بشكل خاص لعملية الطباعة والحفر منخفضة التكلفة والألواحَ المطبوعةَ المطلية، عندما يكون الوضوح والتعريف النهائيين غير مضبوطين تماماً.

أي شاشة مهيئة للطباعة تَشْملُ إطارَ ألومنيومِ، وشبكة، وطبقة حساسة، ورابط التصاقي. الطبقة الحساسة يتم أزالتها بواسطة عملية كيميائية–ضوئية photochemical حيثما يكون الترسيب مطلوب.

هذه العملية أساساً هى عملية ستينسلِ (طبقة حساسة)، حيث تَعتمدُ على نقلِ مادة المقاومُ إلى سطح قشرة النحاسِ للوح المدعوم بإستعمال الصورة الاستينسلِ لتصميمِ الدائرةَ. يجدر بالذكر أن الكلمتين الانجليزيتين **"Stencils"="Emulsion"** تحملان نفس المعني ويستخدمان بالتبادل خلال الفقرات. تربط الطبقة الحساسة (الاستينسل) بِحزم إلى سطح شاشة من الحرير، أو النايلون أو الحديد

المقاوم للصدأ. أي مادة سائلة مقاومة تُدفع من خلال المساحات المفتوحة لشبيكات الشاشةِ التي لَمْ يتم حمايتها بالطبقة الحساسة (الإستينسلِ) إلى البنية التحتية ذات القشرة النحاسية بواسطة ضغط الممسحة عند المَسحَ عبر السطحِ الأعلى للشاشةِ.

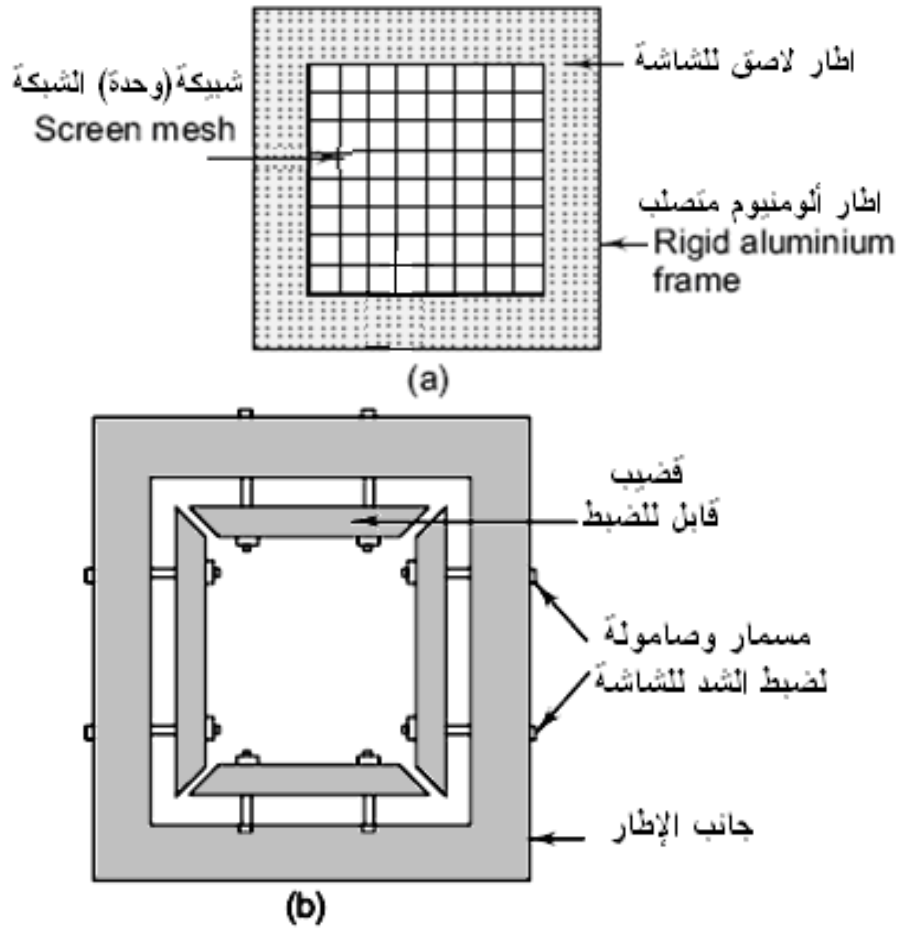
يَدفع ضغطُ الممسحةَ سطح الشاشةَ إلى اسفل عند نقطةِ التماس مع البنية التحتية. بينما تعبر الممسحة النقطةً المعلومة، يدفع الضغط بنسيجِ الشاشةِ إلى تماس ظهرَ الشاشةَ للبنية التحتية، تاركاً حبر الشاشةِ خلفه. الشكل رقم(٢-١٣) يوضح عملية الطباعة بالشاشة.



شكل رقم (٢-١٣) يوضح عملية الطباعة بالشاشة

٢-٣-١ إطار الشاشةِ Screen Frame

الإطار يعطي الدعم الذي به يمكن شد نسيج شبكة الشاشة أَو الفتحات المنتظمة. عادة هناك نوعان من إطاراتِ الشاشةِ المسطحة مستعملة: ' النوع الثابت rigid type ' و' النوع القابل للتعديل أو الضبط adjustable type ' حيث يستعمل إطار عائم. ويظهر هذا في الشكل رقمِ (٢-١٤). الإطاراتَ تَصْنعُ من الموادِ القويةِ مثل الخشبِ أو سبيكةِ الألومنيومِ أو الحديد المقاوم للصدأِ أَو البلاستيكِ.



شكل رقم (٢-١٤) يوضح أنواع اطار الشاشة (a) نوع اطار ثابت (b) نوع اطار مشدود

سبائك الألومنيومِ وإطاراتِ الحديد المقاوم للصدأِ هما المستعملتان على نحو واسع في صناعةِ ألواح الدوائر المطبوعة. بالرغم من أنَّ وزن الإطار الخشبي أقلُ نِسْبياً، إلا أنه لا يستخدم بسبب إمتصاصِه الماءِ أثناء العمليةِ، مؤدياً إلى الميل للإنحناءِ والتقوس. عادة، سبيكة الألومنيومِ مستعملةُ لتصلب النوع وإطار الحديد المقاوم للصدأ نظراً لمقدرة الشد stretchable لقماش الشاشة عليه (تَوَتّر متغيّر). عادة يكون مقاس الإطارَ في الحيز ٤٠٠ × ٤٠٠ ملليمتر. على أية حال، يجب استعمال نسبة من ١٠–٢٥ بالمائة فقط مِنْ مساحة الشاشةَ.

الشكل رقم (٢–١٥) يوضح مجموعة من الإطارات الخشبية مشدود عليها الشاشة وأخرى مثبتة مفصليا على قاعدة طباعة وممسحة. وهى مجموعة في أبسط صورها حيث تقوم بمهام الطباعة حسب المطلوب.

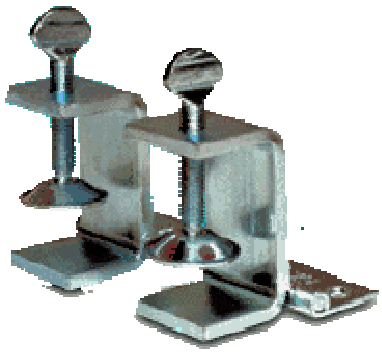
يثبت إطار الشاشة بواسطة مفصلتان أو أكثر حسب مقاس لوح التشغيل أو إطار الشاشة. إذا كانت المفصلة المستخدمة من النوع المستوي يشترط أن يكون محور دورانها قابل للخروج والدخول لفك جزئي المفصلة وهو النوع الظاهر في الشكل رقم (٢–١٦–أ). وذلك لتنفيذ عمليات التشغيل للشاشة (التنظيف ونقل الصورة و..الخ). ولذا يتم تثبيت جزء المفصلة المستوية في قاعدة الطباعة والجزء الثاني في إطار الشاشة بواسطة المسامير البورمة الخشابي إذا كان الاطار من الخشب.

يمكن الاستغناء عن التثبيت الدائم لجزء المفصلة في اطار الشاشة كما ذكر سابقاً واستخدام نوع المفصلات الموضحة في الشكل (٢–١٦–ب،ج). حيث أن هذا النوع من المفصلات مزود بمشبك مثبت تثبيتاً دائما على جناح المفصلة المفروض تثبيته في اطار الشاشة. عند تثبيت الاطار للطباعة يتم تثبيته تثبيتاً مؤقتاً وضبطه بواسطة المشبك المثبت في جناح المفصلة. بعد الانتهاء من عملية الطباعة يتم نزع اطار الشاشة بفك المشبك حيث يغسل ويجفف ويخزن.

شكل رقم (٢–١٧) يوضح كيفية تثبيت مفاصل مزودة بمشابك لاطار الشاشة وضبط مستوي الطباعة بوضع لوح ذو سمك يعادل سمك المشبك. يمكن تجنب وضع هذا اللوح بالنقر في الاطار لتنفيذ تجويف يبتلع سمك المشبك ويتجنب بروزه وإعاقته عملية الطباعة.

شكل رقم (٢-١٥) يوضح مجموعة من الإطارات الخشبية مشدود عليها الشاشة وأخرى مثبتة مفصليا على قاعدة طباعة وممسحة.

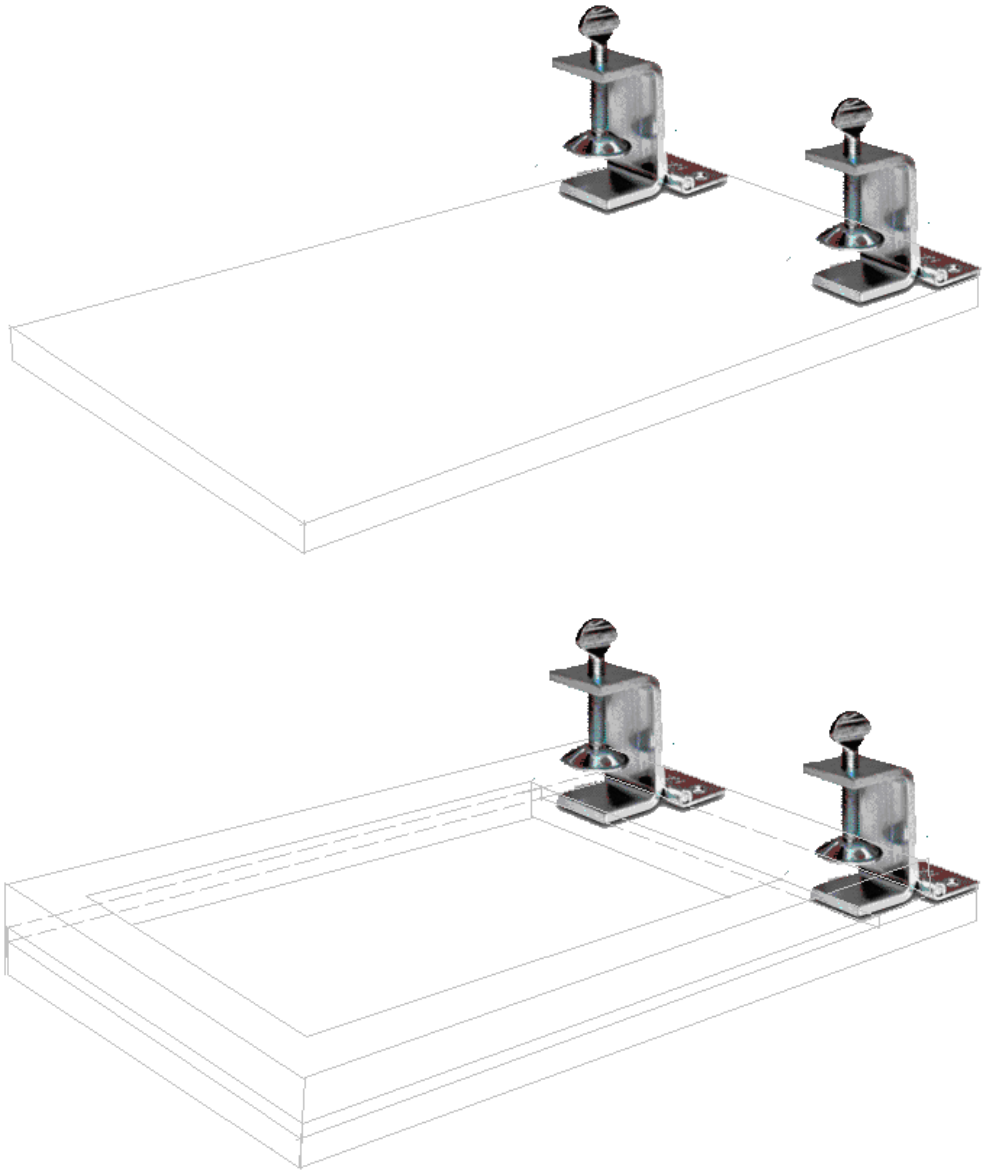
(أ)



(ب)

(ج)

شكل رقم (٢-١٦) يوضح أنواع من مفاصل الربط بين إطار الشاشة وقاعدة الطباعة



شكل رقم (٢-١٧) يوضح كيفية تثبيت مفاصل الاطار وضبط مستوي الطباعة

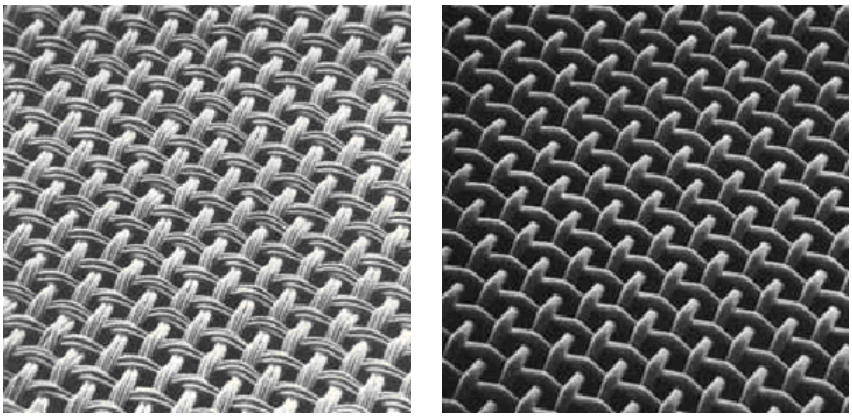
٢-٣-٢ قماش الشاشةِ:

قَدْ يصنع نسيج الشبكةِ المستعملَ في عملية الطِباعَة بالشاشةِ من الحديد المقاوم للصدأِ، أو الحرير، أو البولستر، أو النايلون أَو أى مادّة مماثلة أخرى. تُصنّفُ خيوطَ الأنسجةِ إلى النوعين التاليينِ:

- شُعَيرة أحادية Mono-filament : وهى تُنْسَجُ بألياف الخيط المنفردِ. ومن أمثلته الحديد المقاوم للصدأ والبرونز الفسفوري والنايلون والبولستر.

- متعدّد الشُعَيرات Multi-filament : أي قماش متعدّد الشُعَيرات منسوج بأكثر مِنْ ليفة واحدة أَو بالعديد من الالياف المنفصلة. ومن أمثلته الحريرَ والبولسترَ.

الشكل رقم (٢-١٨) يوضح نوعى خيوط الانسجة : الاحادي والمتعدد الشعيرات



شكل رقم (٢-١٨) يوضح من اليمين : نسيج الشعيرة الاحادية ثم نسيج الشعيرات المتعددة

أنسجة الشاشةِ تُصنّفُ بعدد التشبيكات، وفتحات التشبيك والنسبة المئويةَ للمساحة المفتوحةِ أَو منطقة تغطيةِ الحبرِ. يصنّفُ تشبيك نسيجِ الشاشةَ طبقاً لعددِ الخيوطِ أَو الأسلاكِ (الفتحات) لكلّ سنتيمترِ خطيٍّ من الخيط أَو قطرِ السلكِ. أسلوبَ النسج ونوع الشُعَيرة المفردة والمتعددة يعتبرا من العوامل المهمة الّتي ستؤخذ في الاعتبار عند تصنيفِ الشبكةَ. الشبكة ذات عدد الأسلاك الأكثر لكلّ سنتيمترِ خطيٍّ وبالتالي، الفتحات الأصغر، ستعطي صورةَ أدق. على أية حال، قَدْ يَكُونُ أكثر صعوبةً أحياناً دَفْع حبر الشاشة خلال فتحات الشاشة الصغيرةِ إلى سطحِ البنية التحتية.

لا يستخدم البولستر المتعدّد الشُعَيرات في طِباعَة الدائرةِ. فهو مستعملُ أساساً في طِباعَة الخزفِ. الشاشات أحادية الشُعَيرات Mono مثل البولسترِ والحديد المقاوم للصدأِ يَستعملانِ عموماً حيث يَعطيان مرورَ أكثرَ للأحبار لإختِراق احسّنُ للترسيبات ويعطي إتساقِ للونِ أَو المعجونِ. وهو يُنتجُ أقل عائق أثناء عمليةِ جر معجون الحبر ولذا تستخدم الشاشات أحادية الشُعَيراتَ mono في طريقة الطْبعُ المباشرِ بالطبقة الحساسة.

أنسجة البولسترِ الاحادية الشُعَيرةِ Mono لَها عدد تشبيك في المدى من ١٠٠-١٤٠ شبيكة/سنتيمتر. على أية حال، التطبيقات التي تتطلب دقّة قصوى، لخطأِ تسجيلِ registration error مطلوب مثلاً أقل مِنْ ٠.١ مليمتر، يوصي بأنسجة حديد مقاوم للصدأِ للحصول على نتائج أفضل. في الشاشات ذات الأنسجةِ المقاومة للصدأِ، يتم اختيار عدد الشبيكات ضمن المدى من ١٢٠-١٤٠ شبيكة/سنتيمتر. الحجم النموذجي الاقصى للجزيء المقرر مروره من خلال الشبيكة (الفتحة) يَجِبُ أَنْ لا يَكُونَ أكبر مِنْ ثُلث فتحة الشبيكة لمَنْع انسداد الفتحات. على سبيل المثال، الشاشات ذات ٨٠ شبيكة لَها فتحات حوالي ٢٢٤ ميكرون، لذا فإن حجم الجزيئ المقرر مروره من خلالها يَجِبُ أَنْ لا يَتجاوزَ ٧٥ ميكرون. تَمِيلُ شاشاتُ الشبيكات الأدق إلى الاستعمال للترسيب الأنحفِ. الشاشة ذات ١٨٠ شبيكة ومعجون مسحوقِ دقيق يُمْكِنُ أَنْ يُستَعملُ لإنتاج ترسيب بسُمك من ١٠٠-١٥٠ ميكرون، عن استخدام شاشة ذات ٨٠ شبيكةً.

يتم التحكم في سمك الحبر المرسب بواسطة مادة النسيج. لتَحديد عدد شبيكات النسيجِ الصحيحة، يتم استخدام حجم اللونِ نظرياً. حجمَ اللونِ النظريِ هو عبارة عن كمية الحبرِ الممسوكة في النسيجِ قبل مرورِ الممسحةِ أثناء ضربةِ الطِباعَة، وهو مُحدَّدُ بعدد الخيوطَ وسُمكَ الخيطِ وفتحة الشبيكة (الشكل رقم ٢-١٩).

تعريف حافةَ الصورةِ المنتجة بواسطة شاشة الطباعة تتغير طبقاً لسمك الخيطِ، (d) وفتحة الشبيكة، Mo. تَختلفُ أنسجةُ الطِباعَة طبقاً لنوعيةِ الخيوط. من أنواع الخيوطِ:

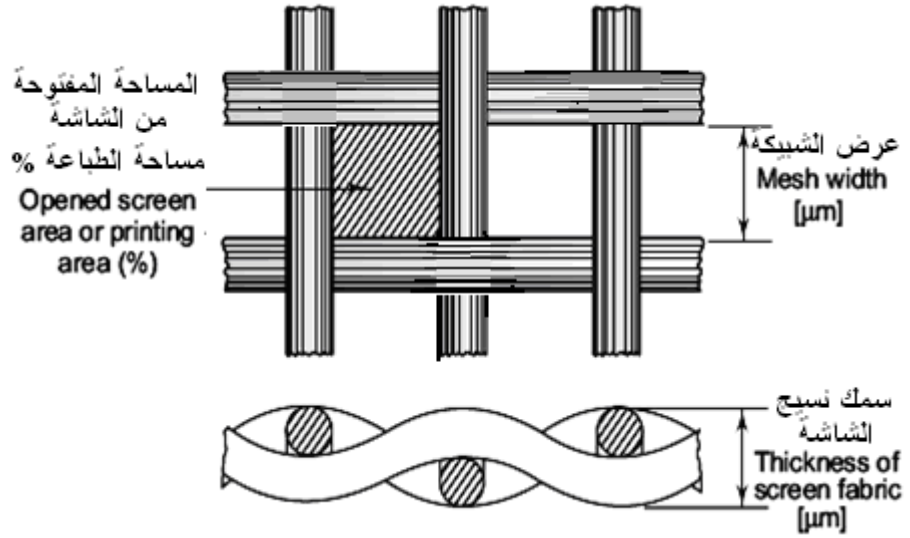
- درجة الشبيكة الرفيعة Thin mesh grade (S)
- درجة الشبيكة المتوسطة Medium mesh grade (T)

- درجة شبيكة المجهود الثقيل Heavy duty mesh grade (HD)

ومن أنواع الخيوطُ المستعملة عموماً والأكثر شيوعاً للطباعة بالشاشةِ في صناعة لوح الدائرة المطبوعة : النوع T والنوع S، كالمعروض في الشكل رقمِ(٢-١٩).

٢-٣-٣ تحضير أو إعداد الشاشةِ

يتم تحضير الشاشةَ بالأخذ في الإعتِبار عواملِ مُخْتَلِفةِ مثل خط نقل الصورةِ image transfer line ومتطلب المساحة أو الفراغ، ومقاس لوح التشغيل panel size، وعملية الصناعة، وطول عملية التشغيل،..الخ. وهذا يتلوه بواسطة الاختيار بشكل صحيح نوع النسيجِ fabric type ومقاس الشبيكةِ mesh size وإطار الاستينسلِ frame stencil والحبرِ. عندما يتم هذا، يقطع النسيج بعِدّة سنتيمترات أطول مِنْ قولبة الإطار إلى قضبانِ الإطارِ بالمشابكِ والمواد اللاصقةِ، تحت الحَدّ الأعلى للشد المنتظم المطبق باليد.



شكل رقم (٢-١٩) يوضح هندسة نسيج الشاشة

يعتبر الشد الصحيحَ للنسيجِ مهمُ جداً في عملية طِباعَة الدائرةِ. فإن الشد الغير كافي للنسيجِ سَيُسبّبُ تسجيلَ سيّئَ للتفاصيلِ المطبوعِة، واللون، والشكل، والطباعة خارج التماس، وفقدان فتحة الشبكةِ

وفقدان مرورِ الحبرِ. أثناء الشد، يجب أن تكون الخيوط متوازية أَو بزاوية ٤٥° إلى جوانبِ الإطارِ، والإطار يَجِبُ أَنْ يَكُونَ متصلب وثابت. لا يجب أن تنحنى جوانب الإطار أثناء الشد. يجب أن يبقى الشد للشاشة بين ١٠ إلى ١٥ نيوتن/سنتيمتر (Newtons per centimetre).

يتم شد الشاشةَ على الإطارِ بالطرقِ التاليةِ:

- النسيجَ المشدود يَستعملُ بشكل دائم لاصقَ خاصَّ أَو مسمارَ أو دبابيس دباسة على الإطارِ وفي هذه الحالة، يكون الشد غير قابل للتعديلَ أو للضبط. للشد، هناك أجهزة مثل النظام الهوائي المضغوط pneumatic system (بإستعمال ضغط الهواء) يَحتوي مشابكَ هوائيةَ يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ.
- النسيج يُمْكِنُ أيضاً أَنْ يُشْدَّ بإستعمال إطار من القضبان التعويمية floating bar frame . وبالتالي سيكون شد الشاشةَ قابل للتعديلُ في هذه الحالةِ.

عندما يكتملُ الشد، فإن قوة الشد للنسيجِ يمكن قياسها بإستعمال مقياسِ التَوَتّرَ tension gauge . يتم وضع المتر على أى جزء من نسيجِ الشاشةَ والقراءة تصبح متاحة على وجهِ المقياسَ. يَقِيسُ المقياسُ التَوَتّراتَ مِنْ ٧ إلى ٥٠ والوجهِ مُدَرَّج بوحدات Newtons per centimetre (N/cm)

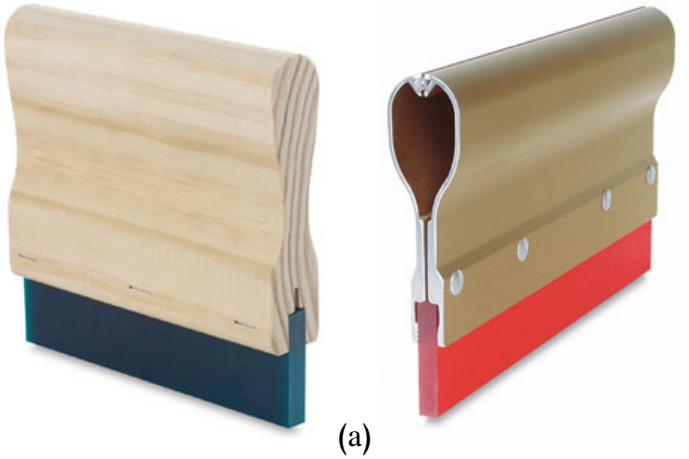
يتم اعادة تحريك الإطارَ المشدود حيث يُنظّفُ كليَّاً ويفكك الدْهُون بمادة مزيلة. المادة المزيلة يَجِبُ أَنْ لا تؤثّر على نسيجِ الشاشةَ. يُمكنُ أَنْ تكُونَ ٢٠ بالمائة هيدروكسيد صوديومِ sodium hydroxide أَو فوسفاتِ ثنائي الصوديوم disodium phosphate أَو أيّ محلول تفكيك الدهون آخر موصىَ به من قبل منتجي نسيجِ الشاشةِ.

بعد تفكيك الدهون من الشاشة، يتم شطف الشاشة بالماءِ الدافئِ أَو البارِدِ. تجفف الشاشةَ بإستعمال المروحة fan أَو النافخ blower الذي يَعطي الهواءَ الساخن. بعد ذلك تصبح الشاشةَ جاهزة للطِباعَة.

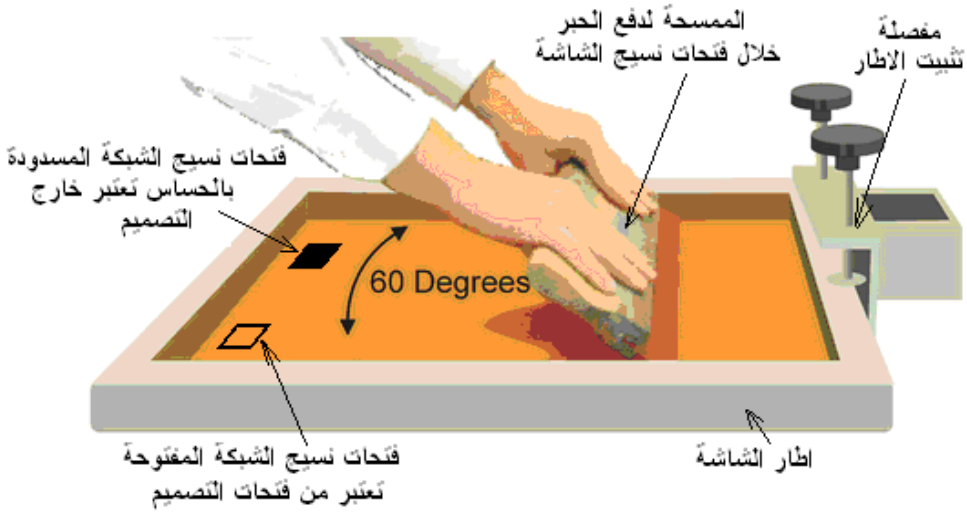
٢-٣-٤ الممسحة Squeegees:

الممسحة المستعملة في عملية الطباعة بالشاشةِ تتكون من مادّةِ elastomeric مثل urethane أَو شريط من المطاطِ حيث يثبت على ماسك خشبي أَو حامل ألومنيومِ (الشكل رقم ٢-٢٠ a). المادّة متوفرةُ بأسماك مُخْتَلِفة وتتكون من تركيبات مختلفةِ من مطاط طبيعي ومادة صناعية (polyurethane) . وتقاس مرونةَ المطاطِ بدلالة durometers (قسوة hardness). عادة:

- ٤٠ إلى ٥٠ مطاطِ durometer مستعملُ في عملية الطباعة لصناعات المنسوجاتِ؛ و
- ٧٠ إلى ٨٠ مطاطِ durometer مستعملُ في عملية الطباعة للوح الدائرة المطبوعة.

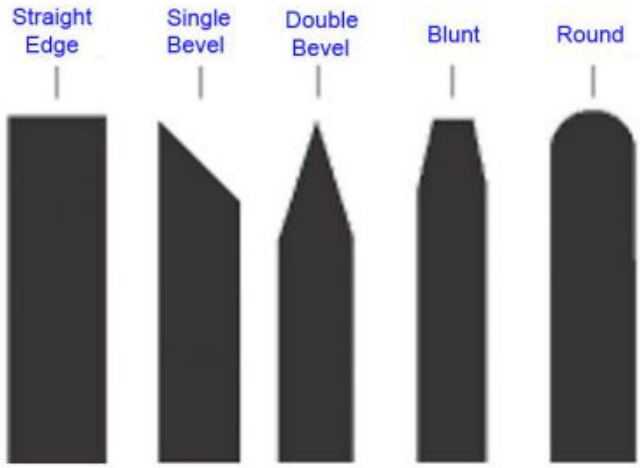


(a)



شكل رقم (٢-٢٠) يوضح (a) انواع الممسحة (b) تطبيق الممسحة

الـsharpness للممسحةِ مهم جداً للطِباعَة. الخَطّ sharpness، سمك الطلاء المنتظم للحبرِ وتعريفُ الحافةَ المعتمدة على sharpness الممسحة.الـ sharpness ينخفض بعد التشغيل المستمر بينما تظل الحواف مدوّرةً. لِذلك، من المطلّوبُ الحفاظ على sharpness. وهذا يتم بواسطة ورقِ الصنفرة أَو أيّ مادّة قاسية أخرى. المزيد من الـsharpnes أيضاً يدمر الشاشة. تطبيقَ الممسحة موضح في الشكل رقمِ ٢-b٢٠. الشكل رقم (٢-٢١) يوضح انواع حواف الممسحة المختلفة : الدورانية، الصريحة، مزدوجة الشطف، مفردة الشطف، الحافة المستقيمة.



الشكل رقم (٢-٢١) يوضح الانواع المختلفة لحواف الممسحة

٢-٤ عملية نقل الشكل على الشاشة:

قبل البدء في عملية تنشيط الحساس السائل وتوزيعه على سطح الشاشة يجب إجراء عملية تنظيف لسطح الشاشة. حيث أنه من المؤكد وجود دهون واتساخات نتيجة لتناول الشاشة وفردها وتثبيتها على الاطار.

الطبقة الحساسة لَيست في حالتها النشطة sensitized form عند الشراء. ولكي نجعلها حسّاسة، يتم خلطها مع مسبب حساسية (منشط) sensitizer قبل الإستعمالِ كما بالشكل (٢-٢٣). البعض مِنْ مسببات الحساسية sensitizers المستعملة عبارة عن ثاني كرومات (بيكرومات) البوتاسيوم

potassium dichromate، أو ثاني كرومات (بيكرومات) الأمونيوم ammonium dichromate أَو ثاني كرومات (بيكرومات) الصوديوم sodium dichromate. الشكل رقم (٢-٢٢) يوضح المعجون الحساس للضوء photo emulasion ومسبب حساسيته sensitizer.

شكل رقم (٢-٢٢) يوضح الطبقة الحساسة الضوئية photo emulasion ومسبب حساسيتها sensitizer

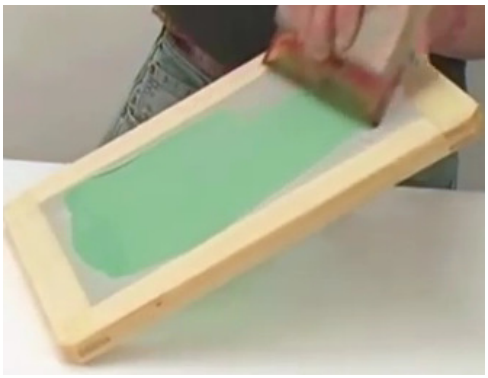
يتم توزيع الطبقة الحساسة بفردها بالسحب في اتجاه واحد لضمان تجانس سمك الطبقة الحساسة على جانبى الشاشة كما بالشكل رقم (٢-٢٤) وبإمالة الممسحة بزاوية مقدارها ٦٠ درجة لجر معجون الطبقة الحساسة أمامها. قبل بدء التوزيع يتم وضع معجون الطبقة الحساسة في صورة خط بعرض الشاشة كما هو موضح بذات الشكل بطول أقل من عرض الممسحة.

تخفيف مسبب الحساسية

إضافة مسبب الحساسية إلى معجون الحساسية وخلطهما معاً

شكل رقم (٢-٢٣) يوضح خطوات خلط مسبب حساسية الطبقة الحساسة

سكب أو نقل كمية من المعجون الحساس بعرض الاطار



قلب الاطار في وضع مريح ومحاولة فرد وتوزيع المعجون الحساس من كلا السطحين

شكل رقم (٢-٢٤) يوضح عملية فرد وتوزيع السائل الحساس للضوء

وضع وضبط الفيلم الاصلي على الطبقة الحساسة على الشاشة

التعريض للضوء والشطف بالماء

الحصول على الشبلونة

شكل رقم (٢-٢٥) يوضح وضع الفيلم الاصلي على الطبقة الحساسة على الشاشة وتعريضها للضوء ثم شطفها بماء مدفوع لإزالة البلمرة الغير معرضه للضوء

تعرض الشاشةَ المَكْسُوةَ بالطبقة الحساسة (بعد جفافها) إلى مصادرِ ضوء الإشعاع فوق البنفسجيةِ ultraviolet أَو الفلوروسنتية fluorescent الأخرى لفترة زمنية من ٥ إلى ١٥ دقيقة. يَعتمدُ وقتُ التعرّيضَ على كثافةِ الضوء والمسافةِ بين المصدر الضوئي والشاشة. عادة المسافة بين المصدر الضوئي والشاشةِ تقدر بحوالي ٥سنتيمتر كما بالشكل رقم (٢-٢٦).

شكل رقم (٢-٢٦) يوضح وحدة الطباعة الضوئية

في هذه الطريقة، طبقة الفيلم الفوتوغرافي الحساسة للضوء (مستحلب) تكسو أو تغطي مباشرة نسيجِ الشاشةَ ويترك ليجف فترة زمنية (ثم يحفظ في مكان مظلم) ويُعرّضُ إلى الضوء، من خلال تماسه المباشر مَع الفيلمَ الرئيسي master film (لتحقيق ذلك ضع أى ثقل على الشاشة لتحقيق تماسها والفيلم الاصلي مع لوح الزجاج المستوي أعلى المصدر الضوئي). عندما يتم اظهار الشاشة، فإن

الشبكةُ تفتح في مناطقِ الشكل المطلوب طباعته. الطبقة الحساسة الضوئية photo emulsion المستعملة هى عبارة عن حامض الخليك polyvinyl alcohol ، أو polyvinyl acetate أَوpolyvinyl chloride، وهم يحتووا جميعاً على بَعْض الصبغِ لجَعْل الشكل مرئي عند معالجته.

أثناء عمليةِ التَعْرِيض exposing، يتم وضع الفيلم الإيجابي أَو السلبي على جانبِ الطِباعَة للشاشة المَكْسُوة بالطبقة الحساسة. التعرّض للضوء يَدفع إلى البلمرة polymerization في المساحات المكشوفةِ، التي تجْعلُها عديمة الذوبان في محلول الاظهار. إذا كان هناك أيّ فجوة هوائية تواجدت بين الأداةِ الفوتوغرافية والشاشة، فإنه يجب أنْ تزالَ بإستعمال نظام تفريغ vacuum system . الفجوات الهوائية يُمْكِنُ أَنْ تُؤدّي إلى تشكيل النمطِ الناقص والعمل الغير كافي. الطباعة التفريغية Vacuum printing تعطي التفاصيلَ الحادّةَ للخَطِّ، والعمل الغير كافي وعدم وجود فتحاتَ دبّوسِية. ماكينات الطباعة التفريغية مع مصدرِ الضوء وكُلّ وسائل التَنظيم الأخرى متوفرة في السوقِ. يُحدّدُ موردي الطبقة الحساسة حساباتِ التعرّضَ أيضاً التي تضمن وقت التَعْرِيض الصحيحِ.

يتم تنفيذ الاظهار (التحميض) فوراً بعد التعرّضِ، احفظ الشاشةَ بالطبقة الحساسة على الجانب العلوي. ويتم شطف الشاشةَ بإستعمال التغذية بالمياه القوية الساخنة أَو الباردِة حتى تظل مناطق النمط للشبكةِ مفتوحة وظهور النمطِ الحادِّ بكُلّ تفاصيله المرئيةُ. ثم تجفف الشاشةَ جيداً بالهواءِ البارِدِ أَو الدافئِ بدرجة حرارة قصوى مقدارها ٤٠ سنتيجراد كحَدّ أعلى. وبالتالي تصبح الشاشةَ سليمة كليَّاً وجاهزة للطِباعَة.

تُعطي الطريقةُ المباشرةُ هذه شاشةُ متينةُ جداً مَع دقة بعدية عالية. على أية حال، التفاصيل الأجود والأكثر دقة لَمْ يعادْ إنتاجها. قَدْ يَكُون هناك مساميةً في تنفيذ الإستينسلِ، التي يُمكنُ أَنْ ترجع إلى الطلاء الخفيف أو الرفيع، أو التعرّض القصير جداً، أو الطبقة الحساسة قديمة جداً، ووقت اظهار طويل جداً أَو نشاط حساس غير صحيح.

٢-٥ أحبار الطباعة Printing Inks

أحبار الطباعة على اللوح المطبوع الخام خلال الشاشة تكون مُمَيَّزة بالمواد الكيمياويةِ المستعملة لتقشيرها أَو بطريقةِ علاجها.
وتصنف كما يلي:

- مقاوم قلوي أَو مقاوم مذيب قابل للتقشير solvent-strippable resist ؛ و
- معالج بالحرارة، أو بالأشعة الفوق بنفسجية uv أَو بالهواء.

الأحبارَ المستعملة في عملية الطباعة خلال الشاشةِ كمقاوم للحفر الكيميائي ومقاوم التصفيح هى غالباً مؤسسة على الفينيلَ وفي الغالب يُمْكِنُ أَنْ تصنّفَ بشكل واسع إلى مجموعتين:
(a) حبر قابل للذوبان في المذيب، و
(b) أحبار قابلة للذوبان في القلوي.

- المقاومات القابلة للذوبان في المذيب Solvent Soluble Resists : هى مقاومات جيدة ضدّ الهجماتِ الكيميائيةِ في كل من المدي الحامضي والمدى القلوي. المذيبان Trichloroethylene أَو trichloroethane مستعملان للتَعْرِية.
- المقاومات القابلة للذوبان في القلوي Alkaline Soluble Resists : هى مقاوم حامضي وقابل للذوبان قلوياً. للتَعْرِية، يستعمل محلول الصودا الحارقة (٢.٥ بالمائة) عند درجة حرارة من ٣٠ إلى ٤٠ سنتيجراد .

يحتوي حبر الطِباعَة صبغةً pigment وسائل ذواب vehicle. السائل الذواب عبارة عن خَلِيْط من مادة مساعدة على التماسك binder ومادة مذيبة Solvent. وهذه المادة المساعدة مستندة على راتنجِ الفينيلِ vinyl resin، و راتنج الفينول phenolic resin ، أو طلاء أثيلِ السليلوزي ethyl cellulose lacquer ، أو طلاء بالنتروسليلوز (نتريت السليلوز) الشيلاكي nitrocellulose lacquer ، أو زيت كتان linseed oil، أو زيت بذرة القطن seed oil cotton، أو زيتَ الخروع castor oil أَو بشكل تجاري يسمى مواد مساعدة على التماسك binders. إنّ وظيفةَ الرابط binders هو مسك الحبّرْ بشكل دائم على السطح. أما المذيبات Solvents فهى الكيتونَ ketones، والأسيتون acetones، والكحول alcohols، والعطريات aromatics، والمذيبات المعالجة بالكلور chlorinated solvents وبشكل تجاري تسمى المذيبات solvents.

يَعتمدُ إختيارُ الحبرِ على العديد مِنْ العواملِ. من هذه العوامل: وجوب جفاف الحبر بسرعة على لوح الدائرة المطبوعة، بينما يَجبُ أَنْ يُجفَ ببطئ على الشاشةِ. ويَجِبُ أَنْ يكُونَ مقاومَ عال ضدّ كُلّ المواد الكيمياوية، وفي ذات الوقت يَجِبُ أَنْ يَكُونَ سهل التعرية. كما يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مرئِيَ بسهولة، لكن في نفس الوقت، يَجِبُ أَنْ لا يُلوّثَ القائمين بالنظافة. يتوقف الإختيارَ النهائيَ للحبرِ على المساومة بين الرغبات المَذْكُورةِ أعلاهِ.

٢-٥-١ الاحبار المُعالَجَة بالأشعة الفوق بنفسجيةِ Ultraviolet Curing Inks:

تُعالجُ الاحبار المُعَالَجَة بالاشعة الفوق بنفسجيةِ، بالتعرّضِ إلى مصابيحِ بخارِ زئبقِ عالية الكثافةِ، عموماً في نمط سير انتاج conveyorized. وهو نظام أحادي الجانب single-sided system، وإذا كانت الصورةِ الجانبيةِ الثانيةِ مطلوبةُ، يتم تطبيقها بعد معالجة الجانبِ الأولِ.

تتكون الاحبار الفوق بنفسجية (UV) Ultraviolet من ثلاثة مكوناتِ رئيسيةِ: (١) Photo-sensitizable monomers، أو polymers أو photo-initiators، و(٢) مواد مانعة Inhibitors، و(٣) صبغات وأصباغ Pigments and dyes.

يَمتصُّ photo-initiators الموجود في الحبرِ طاقةَ الاشعة الفوق بنفسجيةَ وينتج من ذلك عملية البلمرة polymerization. يَسْمحُ المانعُ inhibitor للأحبارِ بالبَقاء مستقرّةِ ويَمْنعُ المُركّب من عملية البلمرة polymerization عندما يحفظ في الحاويةِ قبل الإستعمالِ الفعلي. مُعَالَجَة الحبرِ تعتمد على تركيبها الكيمياويةِ ، كمية أَو نوع الصبغةِ أَو الموادِ المالِئةِ، سُمك الطلاء المطبق وطاقة الضوءِ الفوق بنفسجيِ.

الأحبارَ المعالجة بـUV curing inks هى عبارة عن ١٠٠ % جوامد، وتقدم معالجة سريعة وإنتاجية عاليةَ. على أية حال، هناك مشاكل تَحْصلُ على إتساقِ الدفعةِ إلى الدفعةِ، وهى قَدْ تصبح هشة إذا كانت مُعَالَجِة أكثر من اللازمِ وخلال الإلتصاقِ إلى النحاسِ. من الصّعبِ أيضاً المُعَالَجَة بالكامل عندما يكون سُمك الفيلمِ الرطبِ يزداد.

٢-٦ عملية الطِباعَة :

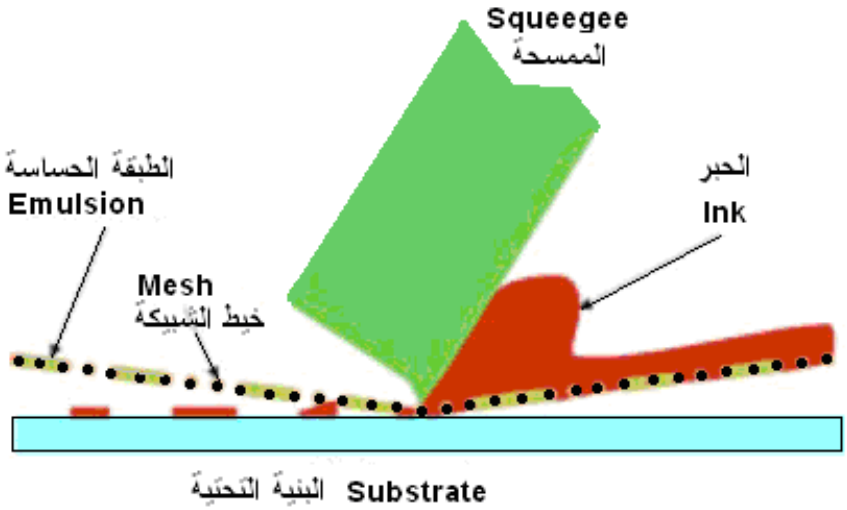
يتم طباعة شكل مسارات الدائرةَ الموجودة على شاشةَ الطَباعة على البنية التحتية بطريقتين:

(١) عملية الطِباعَة بالشاشةِ يدوياً، و

(٢) عملية الطباعة بالشاشة آلياً أو نصف آلية.

٢-٦-١ عملية الطِباعَة بالشاشةِ يدوياً:

تنفذ عملية الطِباعَة بالشاشةِ يدوياً على طاولة عمل قوية. حيث تثبت الشاشةَ في حامل إطارِ مرتكز بواسطة آلية عالية. تختار الممسحة بعرض ٢-٤ سنتيمتر أكبر مِنْ عرض الشكل. إنّ سرعةَ الممسحةَ وضغطَ الممسحةِ يتم التحكم فيهما يدوياً. تَعتمدُ جودة الطِباعَة على مهارةِ المشغلَ. هذا النوعِ مِنْ العمليات مستعملُ في صناعةِ الألواح الغير مهنية المنخفضة التكلفة. شكل رقم (٢-٢٥).



شكل رقم (٢-٢٥) يوضح استخدام الشاشة بعد تحويلها لطابعة أو شبلونة للطباعة بالحبر للصورة المطلوبة

٢-٦-٢ عملية الطباعة بالشاشة آلياً أو نصف آلية:

في عملية الطباعة بالشاشة آلياً، تَشتغلُ الماكينةَ بممسحة محكومة هيدروليكياً عند سرعةِ ثابتةِ وممسحة محكومة هيدروليكياً بضغط ثابتِ كما بالشكل رقم (٢-٢٦). ضغط وسرعة الممسحةِ ثابتان عند كُلّ الضرباتِ strokes ، لذا تصبح جودة الطِباعَة أكثر انتظاماً في هذه الحالةِ عنها في العملية السابقة. عادة كُلّ الطبقات الداخلية مِنْ الألواحِ متعددةِ الطبقات مطبوع بهذه الطريقةِ.

شكل رقم (٢-٢٦) يوضح ماكينة الطباعة بالشاشة

التقدّم في تصميمِ وتشغيل ماكينات الطباعة بالشاشةِ أدى إلى خفض إستعمالِ المكائنِ اليدويةِ. تتوفر الآن مكائن نصف آلية وآلية بالكامل بمغذيات آلية، ورفوف ووحدات مُعَالَجَة تعمل بالسيور conveyorized لجَعْلها كفوءةِ جداً. مقاسات لوح التشغيل القياسيةِ، ٠.٢٥ إلى ٠.٤ مليمترِ للخَطِّ والفراغ وأطوالِ مدى التشغيل، وهى أكثر مناسبة للطِباعَة بالماكينةِ. على أية حال، يمكن الحصول علي الدقة الأعلى في طِباعَة الشاشةِ فقط بالوسائل اليدوية بواسطة أشخاص ماهرون قادرون على تَعديل اساليبهم للتَغْيير في لزوجةِ الحبرِ، والرطوبة، وشد الشاشةِ وظروف البنية التحتية. لكن الطريقةَ اليدويةَ بطيئةُ جداً عموماً لأكثر تشغيلات لوح الدائرة المطبوعة.

٢-٧ الطِباعَة الضوئية :

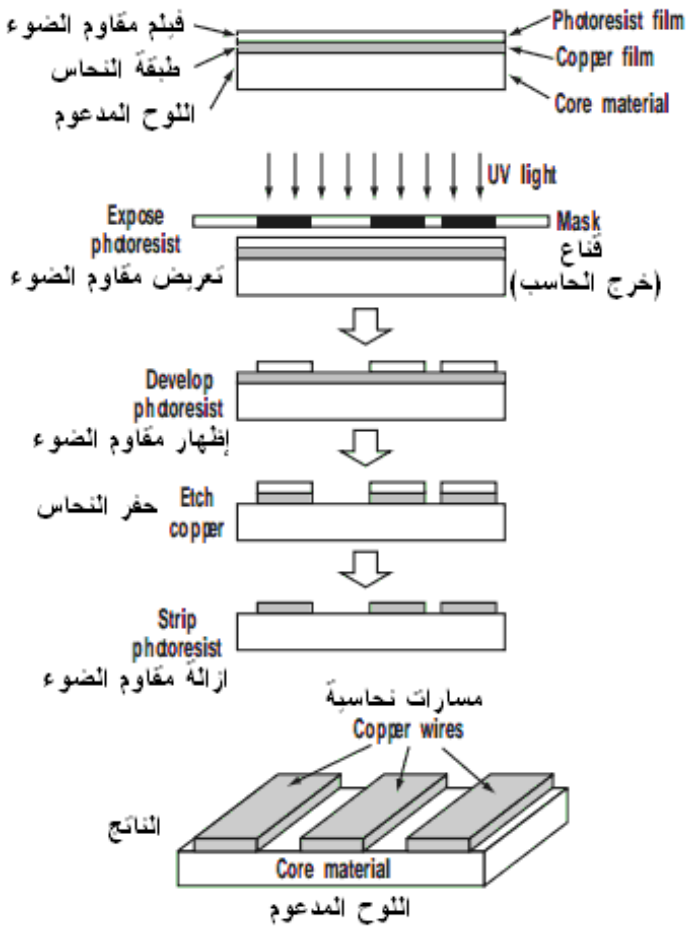
الطِباعَـة الضـوئية لألـواح الـدائرة المطبوعـة أساسـاً تعنـي تطبيـق مـادّةَ حسّاسـةَ للضـوء photo-sensitive material لها القدرة على تَشكيل أو تكوين فيلم مستمر، حيث يكون حسّاسُ للضوء أو أى اشعاعات أخرى لكي يمكن للمناطق المكشوفة (أو الغير مكشوفة) من الفيلم أن تغير من حالتها على عكس تأثر المناطق الغير مكشوفة (أو المكشوفة). المادّة الحسّاسة للضوء هذه تُدْعَى ' مقاوم الضـوء photo-resist '. إنّ الخاصـية الضـروريةَ لمقـاوم الضـوء هـو أن التعـرّض إلـى الإشـعاعِ المناسب يَجِبُ أَنْ يُنتجَ تغييّرُ فيه للتَمْكين في نهاية التشغيل من التمييز بين المناطقِ المكشوفةِ والغير مكشوفة.

كـل سـطحَ اللـوح يـتم كسـائه بالكامـلِ بطبقـةَ رفيعـة مـن مقـاوم للحفـر الكيميـائي حسـاس للضـوء photosensitive etch resist ، سواء كانت هذه الطبقة سائلة أَو ' فيلم جاف '. هذه الطبقة المقاومة تُعرّضُ إلى الضوءِ فوق البنفسجي خلال قناع ضوئي photomask، لكي تحمي مناطق النمطَ المطلوبة حيث تُبلمرُ وتتصلّبُ.بينما مقاوم الضوء الغير متصلب يتم ازالته بواسطة 'الاظهار أو التحميض developing'، المقاوم المتبقي يحمص لزيَاْدَة مقاومتةً للحفر الكيميائي، ومن ثم حفر اللوح كما هو موضح بالشكل رقم (٢-٢٧).

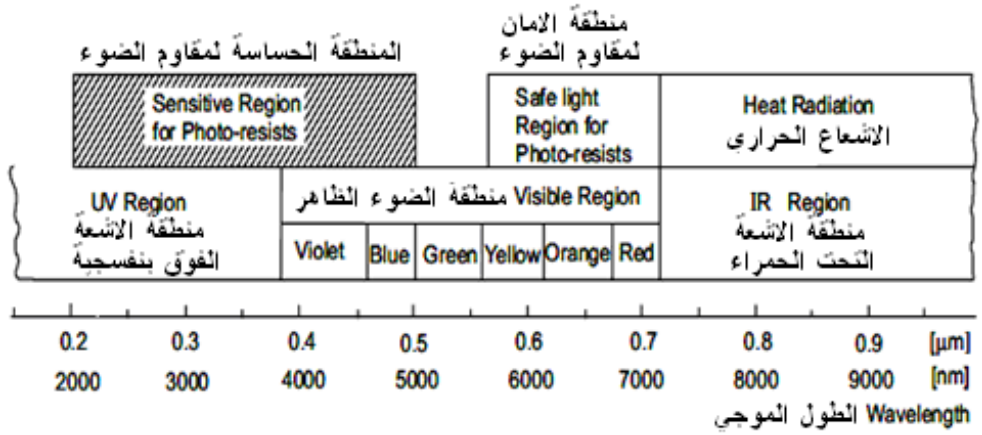
مقاوم الضوء photo-resists حسّاس للضوءِ الفوق بنفسجي بطول موجي ٢٠٠-٥٠٠ نانومتر. مثل فيلم الاثر الضوئي photo-footing film ، مقاوم الضوء لَديه منطقة ضوء مرئية آمنة فيما بين الطول الموجي الأصفرِ إلى الطولِ الموجي الأحمرِ (٥٦٠ إلى ٧٠٠ نانومتر). هذا يتضح في الشكل رقمِ(٢-٢٨).

يصنف مقاوم الضوء إلى الفيلم المقاوم الرطب wet film (أو الفيلم السائل liquid film) والفيلم المقاوم الجاف dry film (أو الفيلم الصلب solid film) وبصرف النظر عن أى الاثنين المقاوم الرطب أو الجاف مستخدم، فإن الخطوات التالية تكون مطبقة لنقلِ الصورةِ باسلوب الطباعة الضوئية. يتم تعريض اللوح المَغطى خلال فيلم مناسب سالب أو موجب للضوءِ الفوق بنفسجي. إذا كان اللوح ثنائي الجانب double-sided، فإن تعريض الجانبين يتم بتأكيد أن الاشكال على كلا

الجانبين مضبوطة بالتوافق لأعلى، بفتحات مخرمة خاصّةَ على الألواحِ والفيلم الفوتوغرافي. زمن التعرض يُمْكِنُ أَنْ يتراوحَ مِنْ بضع عشرات مِنْ الثواني إلى عِدّة دقائق. المقاومْ من ثمّ يحمض (اظهار) تَارْكاً تلك الأجزاءِ من النحاسِ الّتي سَتُحتَفظُ بها على اللوح مغطاة بواسطة المقاوم.



شكل رقم (٢-٢٧) يوضح مراحل تشكيل نمط الدائرة المطبوعة على اللوح



شكل رقم (٢-٢٨) يوضح الطيف الضوئي والمنطقة الحساسة لمقاوم الضوء

في حالة المقاوم السائل، على أية حال، خطوتان إضافيتان مُسْتَخْدمتان. وهما :

(١) تطبيق صبغ للمُقَاوَم لكي يكون مرئيُ على اللوح، و

(٢) تحميص المقاوم عند حوالي ٨٠-١٠٠ سنتيجراد لعشْرة دقائقِ حتى يصبح المقاوم حساساً قبل نقل الصورة وصلباً قبل عمليةِ الحفر بالاحماض.

٢-٧-١ مقاوم الضوء السائل (الحساس السائل) Liquid Photo-resist

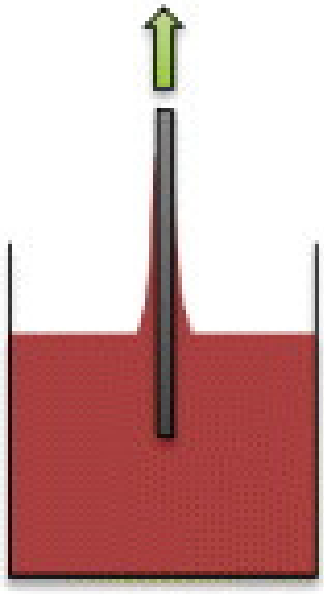
(الفيلم المقاوم الرطب Wet Film Resist):

الفيلم المقاوم الرطبُ هو عبارة عن سوائلَ عضويةَ التي، عندما تتعرض للضوءِ بطول موجي مناسب، فإنها تغير من قابليةِ ذوبانها بشكل كيميائي إلى مذيبات solvents معينة (developers). وهى متوفرة في اشكال غيرِ منشطة unsensitised (two-component system) وقَبْلَ المنشطة pre-sensitized (single-component system) . المادة الكيمياوية المختارة، و/ أَو نِسَب الخَلْط، و/ أَو المذيبات solvents المتبقية و/ أَو مستويات مركب كيميائي مستقل الجزيئات (غير متبلمر) monomer جميعها مهم جداً في تحديد المادة الكيمياويةُ الصحيحةُ والأداءُ الطبيعيُ للفيلم المقاوم الرطب. يتم فرد أو توزيع الفيلم المقاوم الرطب على اللوح المدعوم بعِدّة أساليب. وهى مُفصّلة فيما يلي.

٢-٧-١-١ طرق توزيع الحساس السائل على سطح اللوح المدعوم:

توزيع الحساس السائل بعملية الغمس Dip coating :

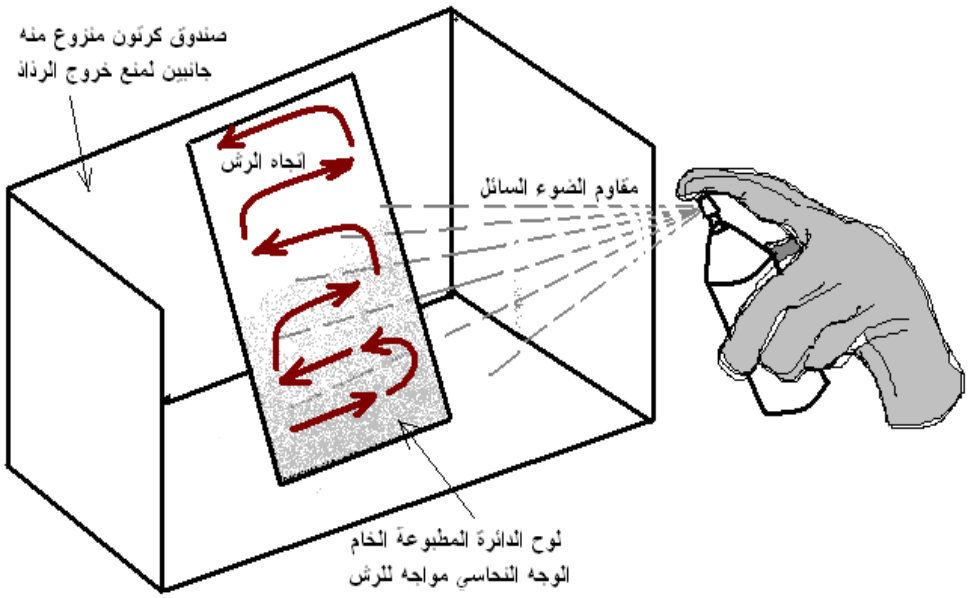
إنّ اللوح يغمس إلى المقاوم ويجذب للخارج ببطء. سمك الطلاء يكون أثخنُ عادة أسفل اللوح مِنْ القمةِ. الشكل رقم (٢-٢٩) يوضح توزيع الحساس السائل بعملية الغمس.



شكل رقم (٢-٢٩) يوضح توزيع الحساس السائل بعملية الغمس

توزيع الحساس السائل بعملية الرش Spray :

الطلاءات الرقيقة للسُمكِ المطلوبِ يُمْكِنُ أَنْ نحصل عليها بهذه التكنولوجيا. إستعمال الرش المضاعف يُمْكِنُ أَنْ يُعزّزَ سُمكَ الطلاء. وفي الأنظمة الثنائية الجانب يُمْكِنُ أَنْ تَكْسوَ كلا الجانبينَ بنظام عربةِ ملائمِ، حيث يُمْكِنُ أَنْ تواصلَ حَمْل ألواح التشغيل panels خلال فرن التَجفيف. يَفْقدُ النظامُ الكثير من الحساس خلال الرش الأكثر من اللازمِ. هذه الطريقةِ لَمْ تعد تُستَعملْ حالياً. الشكل رقم (٢-٣٠) يوضح مهيأ لرش الحساس السائل.



شكل رقم (٢-٣٠) يوضح مكان مهيأ لرش الحساس السائل

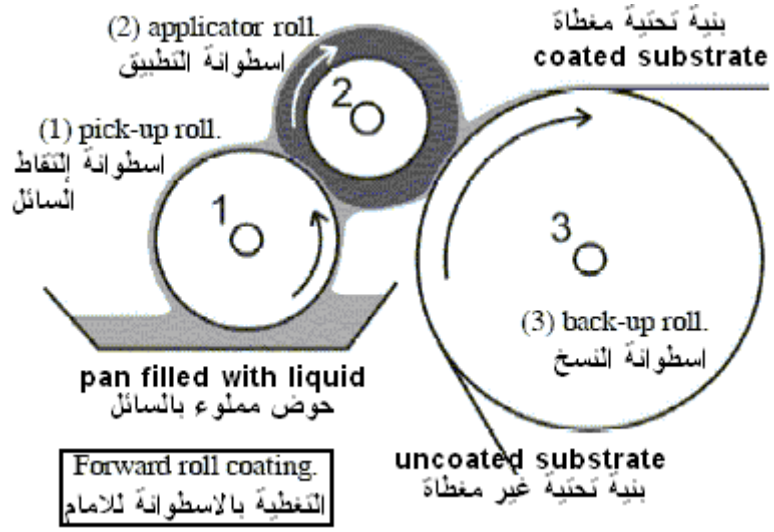
يتطلب في عملية الرش هذه، الخفة والسرعة للوح الدائرة المطبوعة وفي حيز من الضوء الخافت ومِنْ مسافة مقدارها تقريباً ٢٠ سنتيمتر حتى يكون الطلاء مرئياً. هذا العملِ يجب أنْ يُنفّذَ في ظروف بيئية خالية مِنْ الغبارَ تماماً. ثمّ يجب تجفيف الطلاء (٢٠ درجة سنتيجراد لمدة ٢٤ ساعة ، والأحسن ٧٠ درجة سنتيجراد لفترة ١٥ دقيقة). طبقة الحساس السائل وهى رطبة لا تتأثر بالضوء ولكن بعد جفافها في الظلام أو الضوء الامان (الاصفر) تصبح شديدة الحساسية للضوء الشكل رقم (٢-٣١) يوضح عبوة مضغوطة من الحساس السائل.

شكل رقم (٢-٣١) يوضح الحساس السائل تحت الضغط لرشه

توزيع الحساس السائل بعملية الدلفنة Roller Coating :

هذا يتم في أجهزة طلاء ذات وجهي اسطوانتين خاصّتين، حيث تزدوج مباشرة لنظام سحب بدون ترك لوح التشغيل. سُمك لوح التشغيل المتعدّدِ لا يسبب مشاكل وأن انتظام واتساق سطح لوح التشغيل الكبير يكون جيداً .

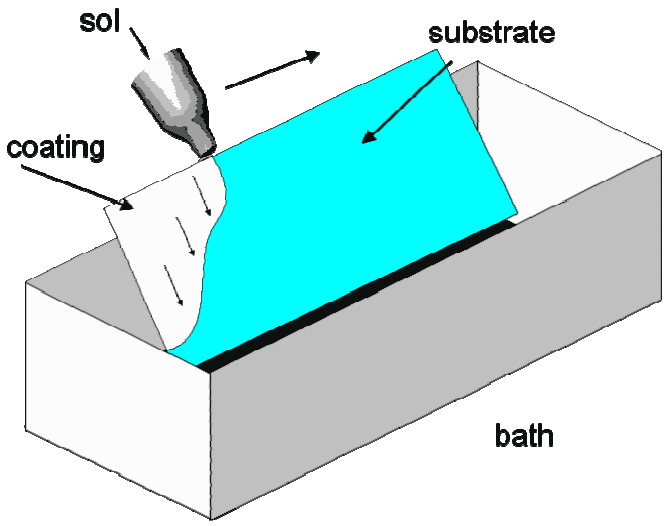
من بين العديد مِنْ ترتيباتِ ماكينات اسطوانات الدلفنة المختلفةِ المستخدمة في طلاء طبقة الحساس المقاوم للضوء على البنية التحتية، سَنُركّزُ إنتباهَنا على مجموعة الاسطوانات الامامية forward roll coater الشكل رقم (٢-٣٢). تُصْنَعُ اسطوانة إلتقاط السائل من الصلب وهي تغطّسُ جزئياً في حوض مملوء بالسائل المطلوب الطلاء به. كلما تحركت هذه الاسطوانة قامت بتغذية اسطوانة التطبيق للسائل على البنية التحتية التي تمر أمامها بفعل اسطوانة النسخ رقم (٣) . تتوقف كميةَ الطلاءِ المرفوعة باسطوانة الالتقاط على سرعة الاسطوانة، وعمق الغاطس لها، وخواص سائل الطلاء .



شكل رقم (٢-٣٢) توزيع الحساس السائل بعملية الدلفنة

توزيع الحساس السائل بعملية التدفق flow coating process:

يوضع الحساس على اللوح الخام ويميّلُ اللوح بلطف؛ حتى يغطي المقاوم كل اللوح بالكامل. وتعتبر هذه الطريقةَ مناسبة لألواحِ المساحات الكبيرةِ.



شكل رقم (٢-٣٣) يوضح توزيع الحساس السائل بعملية التدفق

في توزيع الحساس السائل بعملية التدفق flow coating process، نظام توزيع الحساس السائلِ تقريباً يتم بالصَبَّ على اللوح الخام كما بالشكل رقمِ (٢-٣٣).

يَعتمدُ سُمكُ الطلاء على زاويةِ ميلِ اللوح الخام، ولزوجة سائل الطلاء ومعدل تبخيرِ المذيب. ولتحسين الاداء في هذه العمليةِ، نجد أن وضع اللوح الخام بعد الطلاء على قرص دوار (دوامي) spinning قَدْ يَكُون مساعدَ لكي نحْصلَ على طلاء أكثرِ تجانساً.

بعد عملية التطبيق، يحمص المقاوم عادة في درجة حرارة مقدارها ٨٠ سنتيجراد لمدّة بِضْع دقائقِ لكي يتحول لحالة الصلابة. مقاومات الضوء السائلة Liquid photo-resists ، عُموماً، صعبُ التعامل معها. سُمكَ الطلاء يكون غير مستويُ والطلاء خلال الفتحاتِ يسبب إعاقات من المقاوم حيث تكون صعبة الإزالة. قد يكون هناك فتحات دبّوسية (اتساخات) في صورة المقاوم حيث يتطلب هذا فحص الصورةُ وتَتطلّبُ غالباً استخدام اللمس للتأكد.

٢-٧-١-٢ الحساس ذو التفعيل السالب وذو التفعيل الموجب:

يصنف الفيلمِ السائل المقاومُ للضوء من ناحية التفعيل كما يلي:

- مقاومات الضوء ذات التفعيل السالب Negative acting resists ؛ و
- مقاومات الضوء ذات التفعيل الموجب Positive acting resists.

مقاوم الضوء ذو التفعيل السالب Negative acting resists:

المقاومات للضوء ذات التفعيل السالب Negative acting resists مبدئياً (قبل التعرّضِ إلى الضوءِ فوق البنفسجيِ) قابلة للذوبان في محلول الاظهار أَو المذيب. لكن بعد التَعْرض، فإنه يبلمر ويُصبَحُ عديم الذوبان في محلول الاظهار. هنا، يجب أن يكون العمل الفني artwork على شكل سلبي. هذا النوعِ من مقاومُ الضوء كثيراً ما يستعملُ في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة.

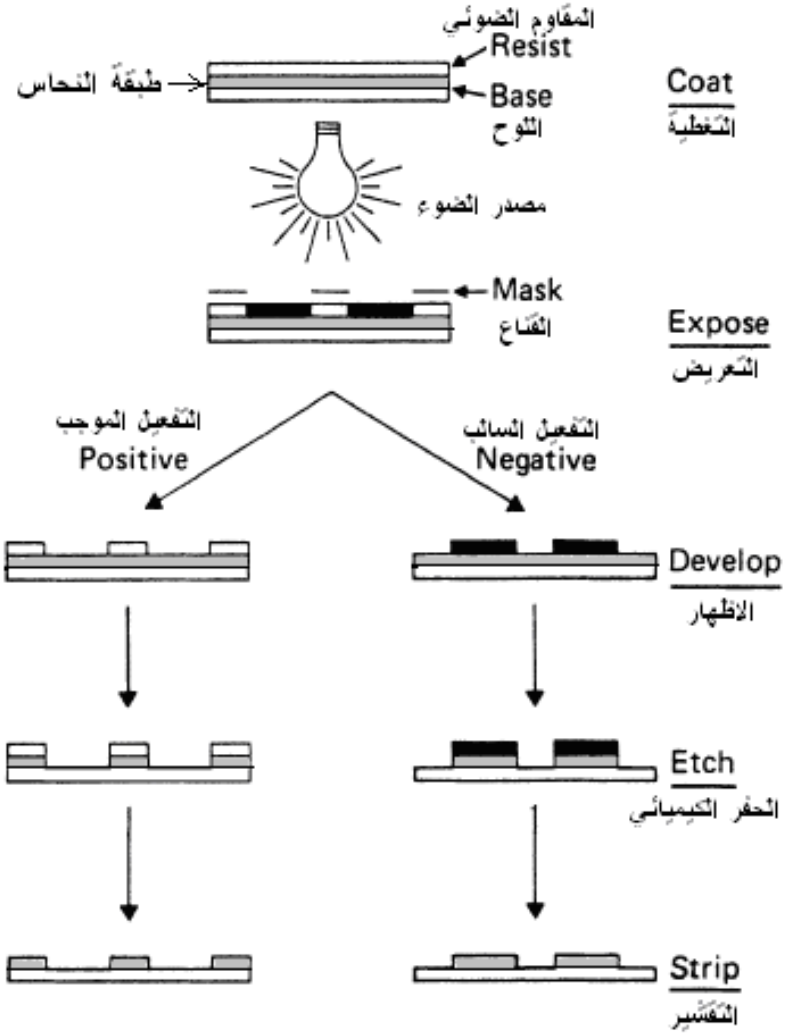
مقاوم الضوء ذو التفعيل الموجب Positive acting resists:

خاصيةُ مقاومات التفعيل الموجب هى عملية عكس خاصية مقاومات التفعيل السالب . فهى مبدئياً لَيست قابلة للذوبانَ في محلول الاظهار. لكن بعد التَعْرض، نجد أن الجزء المُبَلمَر يُصبحُ قابل للذوبان في محلول الاظهار. هنا، يجب أن يكون العمل الفني artwork على شكل إيجابي. إستعمال هذا النوعِ من مقاوم الضوء photoresist يصبح محدود جداً.

المصطلح لوَصْف الادوات الضوئية (القناع mask) phototools هو عادة 'الإيجابيُ positive ' و'السلبيُ negative ': ففي الصورة الإيجابية positive image ، يصبح النمط النحاسي أسود وقاعدةَ اللوح المدعوم واضحة ونظيفة.

أغلب مقاومات الضوء photoresists المستعملة هى ذات العَمَل 'السلبيَ'، التي تعْني بأنّها تتبلمر عند التعرّضِ للضوءِ فوق البنفسجيِ ومن ثم تصبح عديمة الذوبان في المظهر أو المحمض مباشرة الشكل رقم (٢-٣٤). بينما المقاوم غير المُبَلمَر يتم ازالته بواسطة 'عملية الاظهار' لتعرّيضَ المناطقَ النحاسيةَ الجاهزة بالفعل للطلاء الكهربائي.

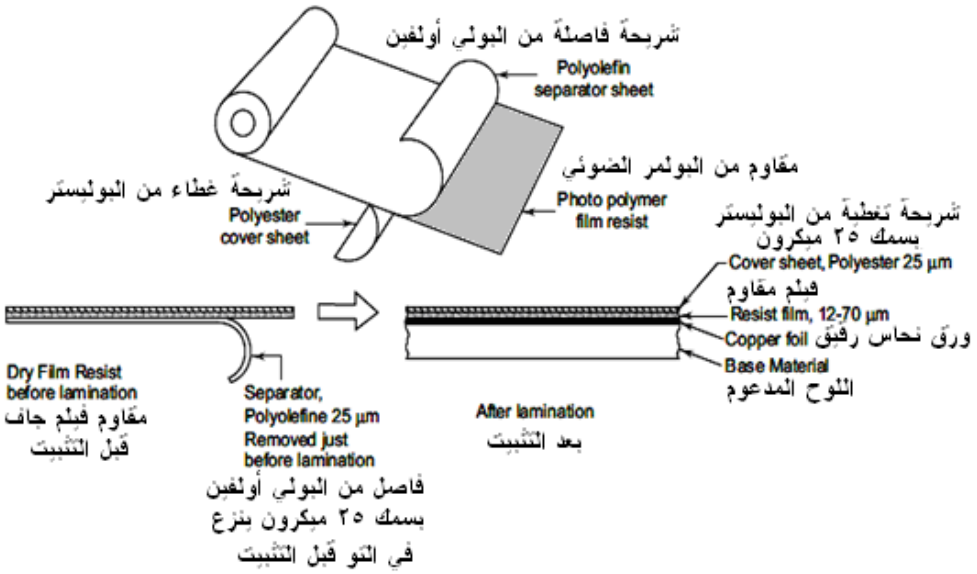
مقاومات الفيلمُ السائلُ تصبح أصلاً أكثر هشاشةً. فهى رفيعة نسبياً وخاضعة للضررِ إذا تم تناولها بخشونة. التَكديس يجب أنْ يتم بعناية فإنه كأيّ تماس بسطح التشغيل قَدْ يُسبب عيوبَ، ويُؤدّي إضافة إلى اصطياد الغبارِ والألياف الأجنبيةِ. تطلب السوائل لأعمال التُنظّف المطلوبة دائماً لمَنْع الجاذبيةِ وإدراجِ defect العيوب المؤدية إلى الملوثات.



شكل رقم (٢-٣٤) يوضح الفعل الايجابي والسلبي للحساس

٢-٧-٢ الفيلم الجاف المقاوم للضوء (الفيلم الحساس الجاف) :

الأفلام الجافة المقاومة للضوء كثيرة الإستعمال في صناعةِ ألواح الدوائر المطبوعة، خصوصاً لإنتاجِ الدرجة المحترفة لألواح الدوائر المطبوعة. تكنولوجيا نقلِ الصورةِ هذه قُدّمتْ كبديل للطباعة بالشاشةِ printing screen ومقاومات الضوء السائلة liquid photo-resists مِن قِبل Du Pont في عام ١٩٦٨. هذه التكنولوجيا مَا إن ظهرت إلا ووَجدتْ قبولا عريضاً، حيث أدت الى ثوّرة فى صناعةَ الدرجةِ المحترفةِ لألواح الدوائر المطبوعة المَطْلِية خلال الفتحاتِ. السُمك المتزايد وإتساق وسهولة التطبيقِ كانت النقاط القوية ومجالاتَ التفوق للفيلمِ الجافِ المقاوم للضوء. الفيلم الحساس الجافُ متوفرُ بينما مادّته المركّبة تَشْملُ ثلاثة طبقات مختلفةِ كما هو مبين في الشكل رقمِ (٢-a٣٥).



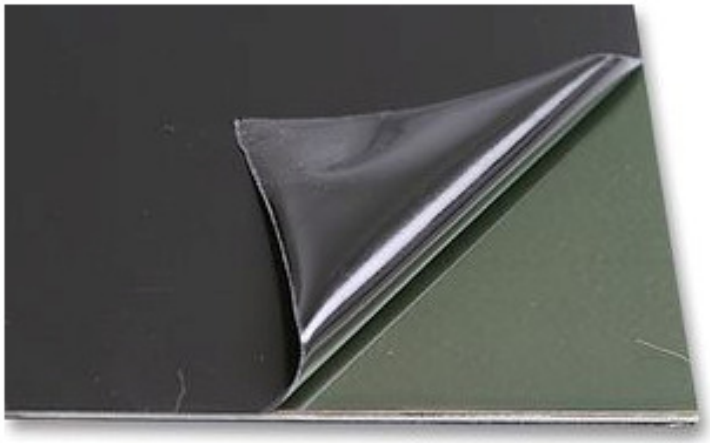
شكل رقم (٢-٣٥ a) يوضح تكوين مقاوم الفيلم الجاف

تنحصر طبقة بولمر ضوئي polymer بسمك مِنْ ١٧ إلى ٧٥ ميكرون بين طبقة فيلم من البولسترِ polyester (mylar) من جهة، وطبقة فيلم من البولي أولفين polyolefin، على الجانبِ الآخرِ. والجدير بالذكر أن منتج لوح الدائرة المطبوعة يصبح لديه خيار عريض لإخْتيارَ سمك الفيلم المقاوم الامثل لتطبيق معيّن. يطبق البولمر الضوئي photo polymer على سطحِ اللوح بإستعمال الحرارةِ والضغطِ بينما يمْرُّ اللوح من خلالِ وحدة التثبيت laminator. في عمليةِ تثبيت الفيلم (تثبيت

الطبقة الحساسة الجافة) على اللوح المدعوم، يتم ازالة شريحة polyolefin فقط قبل التثبيت (تثبيت الفيلم). بينما تستخدم شريحة البولسترَ (الفيلم) كحماية مِنْ بصماتِ الأصابع والجزيئاتِ الأجنبيةِ. الطبقةَ الوقائيةَ (شريحة البولستر) تُزالُ فقط قبل إظهار المقاوم المكشوف. طبقات البولستر والبولي أولفين polyolefin يَسْمحانِ لمقاوم الفيلم الجاف لكي يُلتَفَّ إلى لفّاتِ بكرة ويغلف في أطوالِ مِنْ ١٢٢ إلى ٣٠٥ متر (٤٠٠ إلى ١٠٠٠ قدمِ).

الفيلمُ الجاف المقاوم للضوء Dry film resist كَانَ كثير الإستعمالُ لأنه يمتاز بسهولة التطبيقَ بشكل كبير، والنظافة والمعالجة للمشاكلِ. هناك أبلغَ دليلِ عن أنّ قابليةَ الدقة والوضوح الفني للفيلمُ الجاف المقاوم للضوء تقترب من ١ mil أى بمقدار ٢٥ ميكرون)، بينما الحالة الجارية مِنْ قابليةِ الإنتاجِ تَسقط بشكل مثير تحت المدى من ٣ إلى ٤ mil (حوالي ٧٥ إلى ١٠٠ ميكرون).

ويمكن شراء ألواح الدوائر المطبوعة جاهزة مثبت عليها الفيلم الحساس مع الاحتفاظ بالمادة الحامية القاتمة لمنع وصول الضوء إليها، حيث ترفع وقت الطباعة الضوئية في المعامل المظلمة كما هو مبين بالشكل رقم (٢-٣٥ b). ويجب أن نوجه النظر هنا إلى أن هناك ألواح دوائر مطبوعة مرشوش عليها فيلم حساس سائل وموضوعة في أكياس عازلة للضوء ويفتح الكيس وقت الاستخدام.



شكل رقم (٢-٣٥ b) يوضح لوح دائرة مطبوعة مجهز بفيلم حساس جاف محمي

٢-٧-٢-١ معالجة الفيلمُ الجاف المقاوم للضوء

Processing of Dry Film Resist

الشكل رقم (٢-٣٦) يوضح التدفق المثالي لعمليةِ تثبيت الفيلمُ الجاف المقاوم للضوء على لوح الدائرة المطبوعة بينما الشكل رقم (٢-٣٧) يوضح وحدة معملية لتثبيت فيلم حساس جاف على لوح دائرة مطبوعة. الأفلام الجافة المقاومة للضوء تُطبق على سطحِ اللوح المدعوم، التي يُمكنُ أَنْ تَكُونَ أمّا النوع أحادي الجانب أَو ثنائي الجانب. من الضروريُ التأكد من تنظيف سطحُ اللوح المدعوم بشكل صحيح، لِكي نتفادى وجود تلوّث على السطحِ. وهذا يعطي تأكيد على أنّ خاصية اللصق الجيدة تَوجِدُ بين الفيلمِ واللوح المدعوم لإنْجاز الخواص الكيمياويةِ الموثوقةِ.

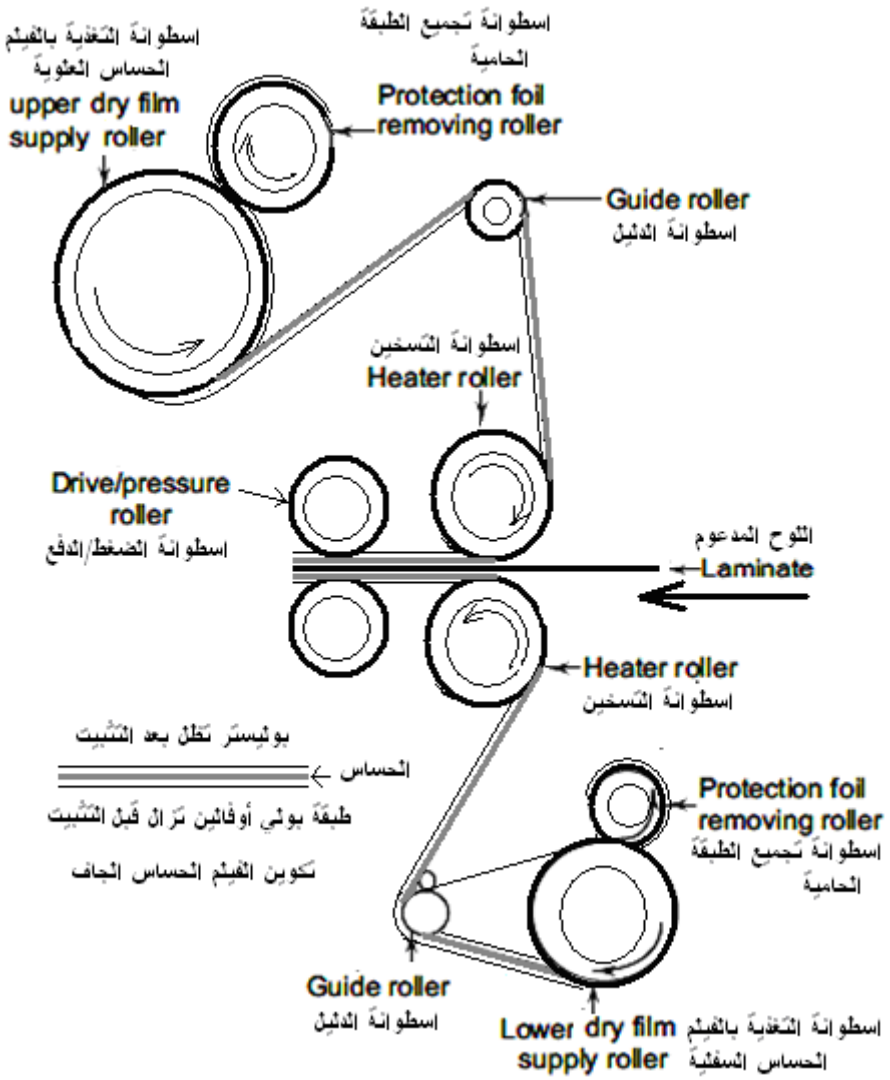
المخطّط الإنسيابي (التعاقبي) لمعالجة الفيلمُ الجاف المقاوم للضوء كما هو يتضح فيما يلي:

- التنظيف قَبْلَ التثبيت والتجفيف (قبل التحميص prebaking)
- تثبيت الفيلمِ الجافِ
- التعرّيض (الطِباعَة)
- الاظهار والتجفّيفُ (بعد التحميص post baking)
- الفحص واللّمسُ
- التَعْرِية

<u>تنظيف قَبْلَ التثبيت (تحضير سطحي):</u>

يتم تنظيف سطحُ اللوح المدعوم، بإستعمال احدى الطرق المذكورة تحت تكنولوجيات التحضيرِ (الاعداد) السطحي التي تمت مناقشتها في وقت سابق. إلتصاق الفيلم الجاف dry film على أسطح ملوثة بآثارِ من النفطِ والدهونِ تعتبر أكثرُ حرجاً مِنْ الأفلامِ الرطبة wet films لأن مثل هذه العيوبِ لا يُمْكن أنْ تُكتَشفَ فوراً أثناء التنفيذ بل تظهر في النتيجة. وبالمثل هناك عيوبَ سطحيّةَ كثيرة تعتبر ضارة أيضاً.

أسطح اللوح المدعوم سواء المثقبة أَو الغير مثقبة سَتمتصُّ ماءَ أَو رطوبةَ أثناء عملية تنظيف السطح. تزال الرطوبةَ الممتصة بواسطة التحميص في أى فرن عند درجة حرارة مقدارها ١١٠ ± ٥ سنتيجراد لفترة مقدارها من ١٥-٢٠ دقيقة.



شكل رقم (٢-٣٦) يوضح تسلسل العملية النموذجية لتثبيت مقاوم الفيلم الجاف على اللوح المدعوم

يجب أنْ يُزالَ الماء الموجود خلال الفتحات للوح أَو نَفخَه مِنْ السطحِ وذلك عن طريق الفتحاتِ قبل التجفيف بالفرنِ. أي مجفف هوائي توربيني ذو قدرة عالية يَجِبُ أَنْ يُستَعملَ في هذه المرحلة. هذه العمليةِ تُدْعَى عملية التحميص المسبق. يَتفاوتُ زمن التَجفيف مع درجةِ جودة اللوح المدعوم ويجب أن تخزن هذه الالواح المدعومة المعالجة في بيئة نظيفة، غير مشجعة على الصدأ.

تثبيت الفيلمِ الجافِ Dry Film Lamination :

يتم تنفيذ التثبيت lamination في وحدة التثبيت laminator حيث توجد الاسطوانات المطاطيةَ المسخنة وترتيب الضغطِ الميكانيكيٍ mechanical أَو الضغط الهوائيٍ pneumatic. يتم تغطية الالـواح المدعومـة المنظفـة والمجففـة بـالفيلم الجـاف المقـاوم للضـوء باسـتخدام وحـدة التثبيـت laminator بواسطة الاسطوانة الساخنة، وهى الاسطوانة (الدلفين) الساخنة التي سبق تسخينها عند درجة حرارة مقدارها ١٢٠ سنتيجراد حيث تقوم بالتثبيت lamination عند الضغطِ العاليٍ (١٥ إلى ٤٠ psi أَو ١٠٠ إلى ٢٧٥ kpa). الشريحة الفاصلةَ تزال آلياً ومباشرةً قبل ما يحدث التسخين. السرعات النموذجية للتغطية بالفيلم الجاف حوالي من ١.٥ متر/دقيقة. تَتفاوتُ درجةُ الحرارة والضغطُ مِنْ وحدة تثبيت laminator إلى أخرى بالاستناد إلى توصيةِ صناع الافلام الجافة المقاومة للضوء. بعد التصفيحِ (التثبيت) lamination، يتم فصل اللوح بواسطة القطع بالسكين knife cut بشكل مستمر حتى يفصل عن الفيلم الجاف.

شكل رقم (٢-٣٧) يوضح وحدة تثبيت فيلم حساس جافlaminator على لوح دائرة مطبوعة

المسافةَ بين الغرفةِ العليا وتسخين السطح والتي تسمى بالفراغ الحر free space يَجِبُ أَنْ تكُون عند المستوى المطلوبِ. الفراغ الحر الاقل ربما يؤدي إلى الفخ الهوائي air entrapment (فقاعات هوائية متبقية) بين الفيلم المقاوم وسطح اللوح المدعوم. الفَخ الهوائي قَدْ يُؤدّي إلى قشور معدنية metal chippage أثناء التصفيح أَو تحت القطعِ أثناء الحفر.

في حالة الألواح ثنائية الجانب، كل من جانبي اللوح يتم تثبيتها بشكل آني. للألواح الاحادية الجانب singlesided، يمكن عمل التصفيح (التثبيت) بواسطة وضع لوحان مدعومان ظهراً بظهر أَو بإزالة إحدى الاسطوانات للفيلمِ الجافِ المقاومُ الآخر، الفتحات المَثقبة تَبْقى نظيفة جداً على الاطلاق.

بعد التثبيت lamination يترك الفيلم الجاف المثبت فترة زمنية معينة قبل عملية التعرّيضِ ويَجِبُ أَنْ يكون محكوم بعناية للنَتائِج الامثل. مقاوم الضوء للفيلمِ الجافّ بعد التثبيت يتم تبريده لفترة من ١٠ إلى ١٥ دقيقةِ حتى يعطي أحسن إستقرار بعدي.

إذا لم يكن هناك زمن مسموح به للتَبريد، وتم تعريض مقاوم الضوء، فإن دقة صورة الدائرةِ من المحتمل أَنْ تَتفاوتَ نتيجة لتُغيّرَ الخواص البعديةَ.

التعرّيض (الطِباعَة):

وحداتُ التعرّيضِ المستعملةِ والأكثر شيوعاً لنقل الصورةِ في حالة مقاوم الضوء للفيلم الجاف تنتج اشعة فوق بنفسجية (ultraviolet) UV، بطول موجي مقداره ٣٦٥ نانومتر. لهذا، فإن مصدر الضوء الموصّى به هو عبارة عن مصباحُ بخارِ زئبقِ mercury-vapour lamp ، مع أن مصابيح القوسِ الكربونِ carbon-arc lamps وأنابيب الفلورسنت UV fluorescent tubes يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تُستَعملَ. في بيئةِ الإنتاجِ، إستعمال مصابيحِ قوسِ الزئبقِ العالية الضغطِ high-pressure mercury arc lamps تعطي قدرة مقدارها ٦٠٠٠ واطِ من الإنارة. مثل هذا الترتيبِ يُزوّدُ بضوء UV شديد ومجمع عند المستويات الباعثة على طاقة اللوح الإنتاجيةِ العاليةِ ونقلِ الصورةِ الموثوقةِ. للمختبرات، النظام الأصغر عادة يكون كافي.

المصدر المجمع Source collimation، أَو درجة التَوازي بالأشعة الفوق بنفسجية UV تستخدم طاقتها الضوئية مع العمل الفني artwork/البنية التحتية المُنشطة substrate artwork/sensitized، في النهاية يحدد مدى دقة نقلِ الصورةِ والحجمِ الأدنى الذي يُمْكِنُ أَنْ تُتحْلّل إليه بشكل موثوق. بالإضافة، فإن إنتظام الإضاءةِ يحدد إتساقَ التعرّيضِ من نقطة إلى آخرى ويُؤثّرُ على إتساقِ عرضِ الأثرَ في الصورةِ المحمضة. مِنْ وجهة نظر الإتساقِ، المصدر المثالي سَيَكُونُ باعث ذو توزيع متجانس isotropic emitter كلما كانت منطقة إشعاعه كبيرة، أَو أكبر

مِنْ البنية التحتية التي تقوم بتُصوّيرها. أيّ مصدر ضوء يؤول للإستعمالِ في إنتاجِ لوح الدائرة المطبوعة يَجِبُ أَنْ يحقق هذين العاملين وتكلفةِ التطبيقِ.

يتم تنفيذ التعرّض بواسطة تسجيلِ جانب الطبقة الحساسة للفيلمِ الفوتوغرافي على شريحة البولسترَ مثل ما هو موجود في diazo film أَو silver halide film. يتم وضع الإثنان في إطار الفراغ للإتصال العميق بين الأسطح. يَعتمدُ زمن التَعْرِيض المناسب على كثافة الضوء، ودرجة الحرارة، وسُمك البولمر الضوئي photopolymer، ونوع الأجهزةِ المستعملة. لتَحديد زمن التعرّضِ المطلوبِ، وزمن المسك أو الاستمرار وظروف التحميض المناسبة، فإنه قد ينفذ عمل تجربة أو اختبار للإنتاج. يَتفاوتُ مستوى التعرّضِ المطلوبِ مع نوعِ الفيلمِ ومنتجِ البولمر الضوئي photopolymer حيث يورد البياناتَ المطلوبة.

إختيار مصباح الضوء الفوق بنفسجي أَو مصباح بخارِ الزئبقِ يَلْعب دوراً مهماً في إتساقِ التعرّض. المصباح القديم The aged bulb سَيؤثّرُ على درجةِ البلمرة polymerization للبولمر الضوئي photopolymer. التعرّض الأمثل هو الاكثر تحكماً مع طريقةِ قرصِ الخطوةَ step-tablet method .

بعد تَعْرِيض اللوح المدعوم المغطي من المقاوم، يترك لفترة زمنية معينة لكى يسمح للبلمرة polymerization أن تأخذ وضعها، وأيضاً لإنْجاز الإتزان equilibrium أَو الإستقرارِ stabilization . الوقت الأدنى والأقصى المسموح به محدّدُ في ورقِ بيانات مُنتَجِ مادة البولمر polymer.

الإظهار Developing :

إظهار اللوح المدعوم المعرض بَعْدَ الإستقرارَ يبدأ بتَقْشير غطاءِ البولسترِ الوقائي. تقوم عمليةُ الاظهار بإزالةً البولمر الضوئي photopolymer الغير معرض unexposed أو الغير مُبَلمَر unpolymerised بالغسل بدون التَأثير على الأجزاءِ المُبَلمَرةِ والمكشوفةِ للفيلمِ.

يعتمد زمن الاظهار Developing time على كيمياءِ ودرجةِ حرارة محلول الاظهار وسُمك البولمر الضوئي photopolymer. الكيماويات ودرجات الحرارة الموصّى بهما يجب أنْ يحافظ عليهما قبل بَدْء عمليةِ الإظهار. إنْ لمْ يكن مسيطر عليهما، فسوف يُؤثّرُ محلول الاظهار على المقاوم المُبَلمَر مسبباً انحطاط أو انخفاض في رتبة السطحِ والحوائط الجانبيةِ للفيلمِ.

تصبح الإزالة الشاملة (الاظهار development) للمقاوم الغير معرض للضوء مِنْ السطحِ ضرورية لضمان النقش أو الحفر والتصفيح الجيدان. الزمن الكليّ بين التثبيت lamination والاظهار development لا يَجِبُ أَنْ يَكُون أكثر مِنْ ٨ ساعاتِ لتَقليل الصعوباتِ الناجمة عن ذلك في عمليةِ الاظهار.

عادة الكيمياءُ الموصّى بهاُ هى ٠.٨ إلى ١.٢ بالمائة لمحَلول كربونات الصوديومِ الغير مائيةِ anhydrous sodium carbonate (كربونات صوديوم نقية بنسبة ٩٩ بالمائة) مذوّبة في الماءِ. إذا كان هناك درجاتِ أخرى مِنْ كربونات الصوديومِ مستعملة، فإن الكمية المطلوبة يجب أنْ تُضبط لتَعويض بللوّرةِ الماءَ water crystallization .

تَميلُ محاليل الاظهار المائية Aqueous developing solutions إلى تكوين الرغاوي foam في ماكينات الاظهار بالرش spray developing machines. وهناك وسائل لتقليل هذه الرغاوي عادة تستَعملُ للسَيْطَرَة. هذه الوسائل يَجِبُ أَنْ تُضافَ بنسب مناسبة لضمان عدم تأثيرها على البولمر polymer. عادة كربيتول البيوتيل butyl carbitol أَو الاوكتين n-octanal يُستَعملانِ للسَيْطَرَة على الرغاوي. وهذا يؤدي إلى زيادة سرعةً الاظهار أيضاً.

التحميص Baking أَو التَجفيف drying بعد عمليةِ الاظهار يتم في درجاتِ حرارة مقدارها بين ٨٥ –٩٥ سنتيجراد لفترة زمنية من ١٠ إلى ١٥ دقيقة. يجب أنْ تُزالَ الرطوبة الممتصة مِن قِبل المقاوم للضوء والمادّةً الاساسية أثناء خطوات الاظهار والشْطف، بالكامل. هذا يُساعدُ أيضاً على إلتصاقَ تصفيحاتِ النمطَ pattern plating adhesion إلى حَدّ كبير. ومن ناحية أخرى نجد أن المقاومةَ الكيميائيةَ تتحسن بواسطة التحميص.

التفتيش واللّمسُ Inspection and Touch up :

التفتيش يَجِبُ أن يأتي بعد تجفيف اللوح. التفتيش يَجِبُ أَنْ يحدد جودة اللوح board وأيضاً العيوبِ الرئيسيةِ والبسيطةِ. في حالة الألواحَ المعيوبةَ فإنه يتم تعريتها من الحساس وتكرار العملية كلها مرة أخرى.

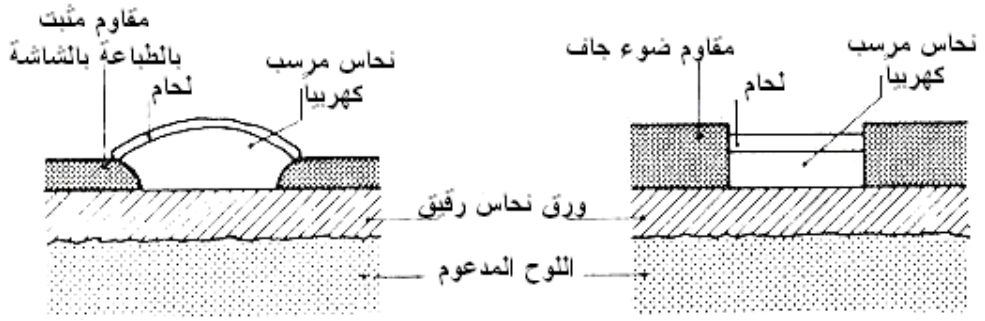
عيوب مثل فتحات في حجم الدبّوسِ الصغير وعيوبِ بسيطةِ أخرى مُخْتَلِفةِ يُمْكِنُ أَنْ تُصحّحَ بالطلاءِ lacquer coatings الذي سوف لَنْ يؤثّرَ على العملياتِ الأخرى.

التَعْرِية Stripping :

إذا وجدت الألواح معيوبة بعد التثبيت/النقش، فإنه ينزع البولمر الضوئي photopolymer للخارج بإستعمال بَعْض المواد الكيمياويةِ الموصي بها مِن قِبل المورد. المادة الكيمياويةَ عادة هى عبارة عن محلول ٢٠ إلى ٣٠ بالمائة هيدروكسيدِ الصوديوم اللامائي مذوّبَ في الماءِ. تحفظ درجةَ حرارة الحمّامِ عند حوالي من ٥٠ إلى ٦٠ سنتيجراد. يتم غسل الألواحَ بالماءِ وتجفيفها بدفع الهواء بواسطة مرشّح أو نافخ هواء.

يجب أن تضاء منطقةُ المعالجة لمقاوم الفيلم الجاف من البولمر الضوئي photopolymer (وحدة التثبيت laminator، التعرّيض exposure، الاظهار developer) بالضوءِ الأصفرِ ذو الكثافةِ المنخفضةِ ويجب أنْ يُفْصَلَ مِنْ كُلّ معالجة المناطق الأخرى.

بالإضافة إلى بساطة الاستخدام، فإن الدقة العالية وقابلية تكرار الانتاج تجعل لاسلوب نقل الصورة الفوتوغرافية العديد من المميزات. مقاوم الضوء الصلد يكون متاح مع اسماك مختلفة لتمويل أغلب التطبيقات. تعريف الصورة يصبح جيد جداً بسبب عدم وجود ومضات لمقاوم الضوء خارج المساحة المضاءة وحوائطه تكون رأسية تماماً. هذه النقطة الاخيرة تعتبر هامة جداً لعملية تصفيح نمط الدائرة pattern plating process ، الشكل رقم(٢-٣٨).



الشكل رقم (٢-٣٨) يوضح اسباب تفضيل تثبيت الحساس في عملية التصفيح لنمط الدائرة (على اليمين) بدلا من استخدام حبر الشاشة (على اليسار) نظراً أن الاول يعطي تصفيح للمقاوم أكثر سماكة وحوائط رأسية

يعتبر مقاوم الضوء المقسى hardened photoresist غير قابل للذوبان في كل المذيبات. لإزالته بعد أن يصبح اللوح مصفحاً كهربياً electroplated ، فإنه يمكن أن يتضخم في المذيب، لكن بعض الفعل الميكانيكي (دهان أو رش المذيب تحت ضغط عالٍ) يكون مازال ضروري. المذيبات تكون عادة مخاليط عضوية عدوانية مؤسسة على كلوريد الميثلين methylene chloride أو حديثاً محاليل مائية aqueous solutions . عند صناعة الالواح ذات الفتحات الخلالية المصفحة PTH ، يجب أن يكون مقاوم الضوء مزال بعناية لتجنب المشاكل خلال اللحام.

٢-٧-٢-٢ شروط المعالجة الجيدة لمنطقة العمل:

فيلم البولمر الضوئي photopolymer (الفيلم السائل/الفيلم الجاف) هو مُنتَج فوتوغرافي. لِذلك فإن العَمَل في جوّ خالي مِنْ الغبار يُخفّضُ الحاجةَ للمس أَو أيّ إعادة أخرى للتشغيل ويُحسّنُ جودة اللوح النهائيةِ إلى حدٍّ كبير.

تُساعدُ الإجراءاتُ التاليةُ في إنْجاز النوعيةِ الجيدةِ:

- مناطق المعالجة يَجِبُ أَنْ تُفْصَلَ وتُنارَ بالضوءِ الأصفرِ.
- تَتطلّبُ منطقةُ العملِ وتتطلب الأجهزةِ، التنظيف المنتظمَ.

- يوصي بالملابس الوقائية المناسبة مثل لباسِ خالي مِنْ النسيج الكتاني lint-free، وأحذية مقاومة للقلوي والحامضيَ، وقبعة.. الخ.
- درجة الحرارة والرطوبة يَجِبُ السيطرة عليهما مثل منطقةِ إنتاجِ الأداةِ الفوتوغرافيةِ.
- محلول الاظهار يجب أنْ يُفْصَلَ عن أجهزةِ المعالجة بالاشعة الفوق بنفسجيةِ.

٢-٨ نقل الصورة مباشرة بأشعة الليزر
(النقل المباشر للصورة بأشعةالليزر)
Laser Direct Imaging (LDI)

نظام نقلِ الصورةِ التقليديِ يَستعملُ للأعمال الفنية artworks والراسم الضوئي Photoplotters. عموماً يَعتبرُ الراسم الضوئي معصوماً من ناحية الدقةِ البعديةِ، كما أنه معاير بشكل دوري وكذا يصان بشكل دوري. أفضل دقةِ موقعيةِ يمكن أن يقدمها الراسم الضوئي photoplotter هى ٢٨ ميكرونُ، حيث أنه لا يتأثر نتيجة لتَغير درجةِ الحرارة والرطوبةِ. الأخطاء المُلاحَظة كالأخطاء الخطيّة واللاخطّية في كُلّ محور بطول rhombic distortion المرافق، حيث أن الإنحراف عبر أحد الأقطارِ يكون أكبر مِنْ الانحراف عبر الآخر.

الأعمال الفنية Artworks المستعملة لصناعةِ لوح الدائرة المطبوعة مصنعة مِنْ البولسترِ المَبثوق extruded polyester، ولذا، فإن لَهُ خصائص مختلفة في إتّجاهِ البثق extrusion وعبر البثق. بالإضافة إلى، خصائص الرطوبة لمادّةِ العمل الفني artwork material وهى تقريباً 14 ppm RH%. وقد تصل خاصية درجةَ الحرارة لمادّةِ العمل الفني تقريباً إلى ١٦ °C/ ppm.

تَمِيلُ أيضاً أنظمةُ ادوات التخريم إلى إضافة الأخطاءِ الأخرى بسبب الدقةِ وقابلية التكرار repeatability المتضارية للتخريم. تَسْخنُ بَعْض إطاراتِ الطبعةِ أثناء الإستعمالِ ويُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ تشويهَ آخرَ حتى ٢٥ ميكرون.

عندما تتراكب هذه الأخطاء أثناء عمليةِ تصنيع الطبقةِ الداخليةِ، فإن متوسط الخطأ يُمكنُ أَنْ يصل إلى ١٣٠ ميكرون. هذا يتطلّبُ قاعدة تصميمِ مِنْ ١٧٥ ميكرونِ لضمان الضبط عندما تكون

الطبقاتِ مكدّسة للإلتِصاق. وهذا يعْني بأنَّ تصميمات HDI التي ستعطي، تكون صعبة للانجاز على ألواح التشغيل panels الكبيرةِ المطلوبة للصناعة لحجمِ التكلفة الفعلية العاليةِ المربح باستعمال تكنولوجيا التصوير التقليديةِ. ومن ذلك نجد أن إزالة الأعمال الفنية مِنْ عمليةِ التصوير يجعلنا نتخلص من كُلّ مصادر الأخطاء المرافقة لإستعمالِها. إستعمالُ تكنولوجيا الليزر laser direct imaging تعطي طريقة تصنيع خالية مِنْ العمل الفني، حيث نتخلص من الأخطاءَ الكبيرةَ المرافقة فوراً والمراقبة البيئية أثناء كل من الإنتاج وإستعمال العمل الفني. إستعمال نظامِ التصوير المباشر بالليزر laser direct imaging يوضح أن الخطأ المتوسط الكليّ يكون مخفّضُ من ١٣٠ ميكرونَ إلى ١٢ ميكرونِ.

التصوير المباشر بالليزر LDI هو عملية نقل صورة نمط الدائرة على لوح الدائرة المطبوعةِ مباشرة بدون إستعمالِ أى أداةِ فوتوغرافيةِ. المقاوم الحسّاسِ الضوئي يتم الطباعة عليه بإستعمال شعاع ليزرِ، وبمعنى آخر: مقروء أو مسحاً ضوئياً عبر سطحِ لوح التشغيل ويتم التحكم في تشغّيلَ وايقاف وحدة الليزر بواسطة نظام التحكم بالحاسبِ. ويجدر بالذكر أن الليزرَ المستعملَ في هذه العمليةِ يقع في منطقةِ الطيفِ UV، وهذه المنطقة من الضوء تناسب أغلب المقاومات الضوئية photoresists المتوفرة عموماً. على أية حال، تَوجِدُ الأنظمةَ التي تَشتغلُ في كل من الطيف المرئي والاشعة تحت الحمراء، بالتعامل مَع مقاوم الصورة المعدّة خصيصاً.

بدأت أنظمة LDI لإيجاد طريقِها أولاً إلى حلبة تصنيع الدائرةِ المطبوعةِ في اواخر الثمانينات. هذه الأنظمةِ المبكّرةِ كَانتْ أبطأ بكثير مِنْ الطباعة التماسية التقليدية conventional contact printing، وكان لها فقط في السَنَوات القليلة الماضية مَع جيل جديد مِنْ أنظمةِ التصوير المباشر بالليزر LDI الأسرع حيث اصبحت العملية تهديد فعّال للطِباعَة بالتماس مَع أداة فوتوغرافية. مع توفر الليزر ذو القدرة العالية، معطياً ٤ واطِ قدرة مطبقة على قطعةِ العملَ، وبمقدمة جيل جديد من مقاومات الضوء الذي يتَطَلَّب مستويات تعرّضِ تقدر بالقيم ٨–١٠ mJ/sq.cm معاً مع الحاسباتِ الأسرعِ لتنقيط البياناتِ، وهو محتملُ الآن للحُصُول على أزمنة تعرّيضِ ومعالجة LDI أدنى من ٣٠ ثانيةِ لكلّ جانبِ للوح التشغيل ذو الابعاد ١٨" × ٢٤".

يشمل نظام النقل المباشر بالليزر، المكوّناتُ المهمةُ التاليةُ:

- نظام الليزرَ؛
- النظام البصري؛
- النظام الميكانيكي؛ و
- نظام تشغيل البيانات.

٢-٨-١ نظام الليزرَ

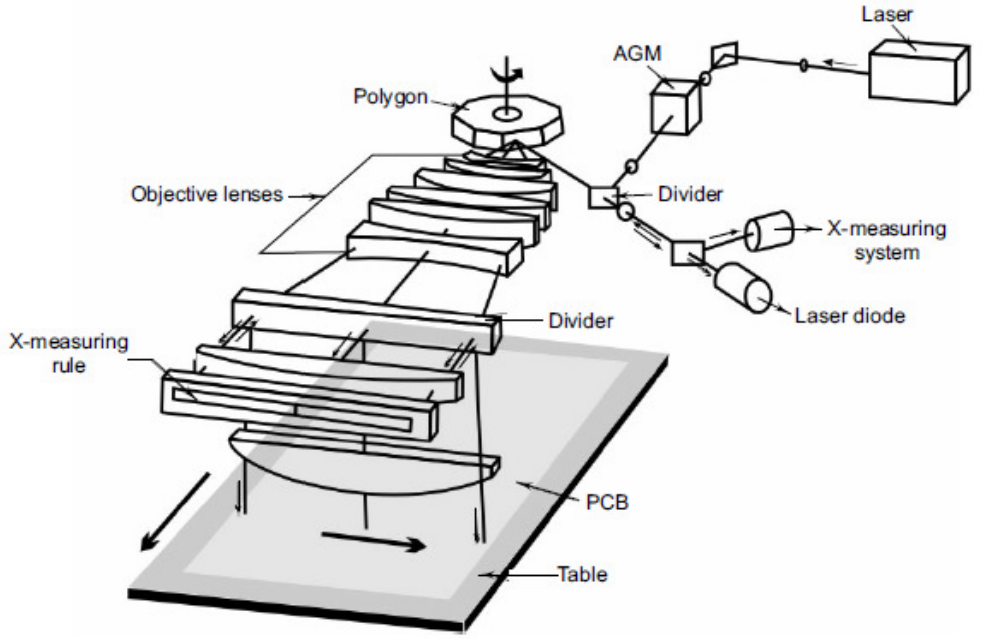
نظامَ الليزرَ مستعملُ كمصدر الضوء ويَشْمل ليزر آيونِ الأرجونِ المُبَرَّد بالماءِ بقدرة مقدارها تبدء من ١.٥ وات. يحدث التعرّض في المدى UV بطولبين موجبين هما ٣٥١ نانومتر و ٣٥٨ نانومتر بسبب الحسّاسيةِ القصوى لمقاوم الضوء الشائع ضمن هذا المدى. قطر نقطة الشاشة ٢٨ ميكرون. حيث أن الكثافةِ ضمن نقطةِ الشاشة pixel مختلفةُ، فإن القطر المتبقي لنقطةِ الشاشة القادرة على التعريض يساوي ١٠ ميكرون.

تعرض المقاوم بواسطة شعاع الليزرِ يكون مؤثراً في الإتّجاهِ الأفقي بسرعة مقدارها ٢٤٠ متر/ثانية. خلال حركةِ المَسْحَ، نجد أن أى نبضةَ توقيت للتعرّيضِ تؤكد مسح شعاع الليزرِ لحالتى الضوءِ/الاظلام. الحركة العمودية للمادّةِ المطلوب تعريضها للمَسْح تسبب انشاء الصورة خَطّ/خَطٍّ في جميع أنحاء السطحِ بالكاملِ. شبكةَ التعرّضَ لها خطوة مقدارها ١٠ ميكرون. في حالة الحَدّ الأعلى لمنطقة التعرّضِ ٣٤٠ × ٦٠٠ مليمتر ، فإن كمية البياناتِ التي يجب أن تعالج تصبح حوالي ٢ بليون نقطةَ شاشة pixels.

٢-٨-٢ النظام البصري The Optical System:

الشكل رقم (٤-٣٩) يوضح النظامَ البصريَ لنظامِ التصوير المباشر بالليزر LDI. يتكون النظام من معدل الصوت-بصري acousto-optical modulator ، وكوارتز الذي يولد فيه الموجة الصوتية المستطيلة إلى شعاعِ الليزرَ. وهو واقعُ في المحورِ البصريِ لشعاعِ الليزرَ. يحاد ضوءَ الليزرِ القادمِ وإتّجاهَه يُتغيّرُ إعتِماداً على ترددِ الموجةِ الصوتية. يصل الضوء أمّا فخّ الشعاعِ beam trap أَو طريقِ الشعاعِ البصريِ optical beam path . يتم انجاز المَسْح بالانحراف عن طريق مضلّع ذو عشَرة أوجه ten-face polygon حيث أوجهه عبارة عن مرايا لَها خطأُ زاويةِ بين بعضها البعض أقل مِنْ ٢". أي خَطّ ٣٤٠ مليمترِ مكشوفُ لكلّ وجهِ مرآةِ.

لكي يُنجزَ سرعة دورانِ دقيقةِ وتشغيل ناعمِ، يتم وضع المضلّع على شق هوائي بعده ١٠ ميكرون ومُزَامَنُ مع دافعِ المنضدةَ. تَنتقلُ المنضدةُ ١٠ ميكرون مع كُلّ وجه مرآةِ جديد. النظام البصري يَشْملُ ثمان عدساتِ، حيث يَضْمنُ مسار شعاع بشكل بعدي telemetrically ولذا ، نحصل على صورة نقطةِ شاشة واضحةِ.



شكل رقم (٢-٣٩) يوضح النظام البصري لنظام النقل المباشر للصورة بالليزر

بَعْدَ أَنْ يَمُرُّ شعاعُ الليزرَ من خلالِ نظامِ العدسات، فإنه يوجه عن طريق مرآة نصف عاكسة إلى أسفل لمُقَاوم الضوء الملتصق على لوح الدائرة المطبوعة أَو طبقة داخلية للوح المدعوم. هناك نظام قياس المحور إكس X-measuring system يَضْمنُ الوَضْع المضبوط لنقطةِ الشاشة. هذا النظام يَشْملُ ثنائي ليزر laser diode بطول موجي مقداره ٦٨٥ نانومتر ، ومسطرة قياس زجاجية glass measuring rule وعِدّة وحدات مرشِحَ وانحرافdeflection and filter units بالإضافة إلى شبكة اسناد reference grid .

يوجه شعاعَ الليزرِ الأحمرِ لنظامِ القياس measuring system بالتوازي مع شعاعِ الليزرِ الأزرقِ لنظام التعرّضِ exposure system عن طريق المضلّعِ خلال نظامِ العدسات وخلال ٥٠ بالمائة

من مرآة على مسطرة قياس X منقوشة. هنا، يتم عكس الصورة عائدة خلال المرآةِ ونظامِ العدسات إلى المضلّعِ حيث تفض المُزَاوَجة de-coupled وتوزع على شبكة اسناد.

أثناء دورانِ المضلّعِ، صورة مسطرة قياس إكس تَعْبرُ شبكةَ الاسناد reference grid وتولّدُ إشارة ضوء التي منها يُمْكِنُ أَنْ يُستَنتجَ نبض توقيت التعرّضَ. الموقع المضبوط لشعاعِ الليزرِ الأحمرِ يُمْكِنُ أَنْ يكون محدداً بحِساب نبضات التوقيت للتعرّضَ. موقع شعاعِ الليزرِ الأزرقِ مُحدَّدُ بنفس الطريقة نتيجة لإزدواج شعاعِ الليزرِ الأحمرِ مَع الشعاع الأزرق .

٢-٨-٣ النظام الميكانيكي Mechanical System:

إنّ المكوّناتَ الميكانيكيةَ الرئيسيةَ لنظام التصوير المباشر بالليزر LDI هى: نظام قياس في الاتجاه Y ، نظام وضع في اتجاه Z، والتسجيل ونظام التهويةِ لإمكانية الغرفةِ النظيفةclean room.

ترتَبط منضدةَ التشغيل مباشرة مع نظام القياس في الاتجاه Y. حيث حركةِ المنضدةَ والمضلّعَ مُتزَامَنان، تستقبل المنضدة نبضة الموضع بعد كُلّ وجه مرآةِ. هذه النبضة تعطي إلى محرك خطوة stepper motor المستقر على قلاووظ بللى ball screw، الذي يتم توصيله أيضاً إلى منضدةِ التشغيل. تحديد المَوضْع مُنَفَّذُ بواسطة عد الزياداتِ منسوبة إلى علامة الاسناد.

قبل عمليةِ التعرّضَ، يجب أَنْ يرْفَعَ لوح الدائرة المطبوعة إلى منطقةِ البؤرةَ ويسجّلَ الموضع. منضدة التشغيل مُجهّزة بثلاثة محرّكاتِ خطوة stepper لهذا الموضع Z . تَرْفعُ هذه المحرّكاتِ المنضدةَ حتى يَكتشفُ عنصر الحس قربِ طبقة النحاسَ للوح الدائرة المطبوعة. حيث تستقر المنضدةَ دائماً ضمن منطقة البؤرةَ مَع الضبط المستطيل لشعاعِ الليزرَ.

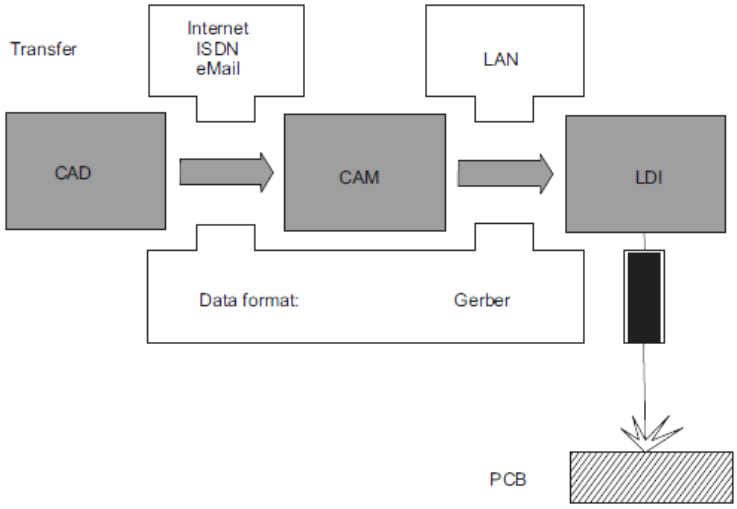
لتسجيلِ ألواح الدوائر المطبوعة، يمكن ايجاد فتحتا خدمة على لوح تشغيل الإنتاجَ. هذا الاجراء يُمكّنه تعديلَ الضبط المناسب لتثبيت انشاء النمطَ إلى نمطِ التثقيب حتى يمكن انتاجه. هناك ثنائيات اشعاع ضوئي LEDs تحت لوح التشغيل وهناك أيضاً اربعة محسّسات ربعِ دائرة أعلى لوح التشغيل. تَقِيسُ المحسّساتُ كميةَ الضوء لكلّ ربعِ دائرة وتضبط عن طريق محرّكاتِ الوَضْع في الاتجاه Xو Yو Z طالما كُلّ ربع دائرة تستأثر بنفس كثافةِ الضوء.

منضدة التشغيل مع النظامِ البصريِ ووحدةِ الليزرَ لَهُما صلاتُ هوائية لإزالة تأثيرِالإهتزازاتِ الخارجيةِ المتسببة بواسطة دوران العرباتِ والميكنة الأخرى على مقربة. نظام تثبيط الاهتزاز هذا يضمن جودة التعريض الصحيح.

٢-٨-٤ نظام تشغيل البيانات Data Processing System:

عادة بيانات CAD or CAM توجد كبيانات Gerber التي تُستَعملُ عادة في الراسم الضوئي photoplotting. نتيجة لأسباب التوافق والحاجة لتَبْسيط المعالجة، يُفضّلُ أيضاً نظام التصوير المباشر بالليزر LDI لمعالجة صيغِ هذه البياناتِ.

الشكل رقم (٢-٤٠) يوضح ترتيب تدفق البياناتَ المثاليةَ التي فيها البياناتَ الخارجيةَ لنظام CAD المُستَلَمُ مِن قِبل ISDN أَو بالبريد الإلكتروني. تَقْرأُ CAM البياناتَ مِنْ المودمِ، وتعالجها وتجعلها متوفرة عن طريق أى نظامِ شبكة إتصالات محليةِ داخليةِ على نظام التصوير المباشر بالليزر LDI .



شكل رقم (٢-٤٠) يوضح ترتيب تدفق البيانات للتصوير المباشر بالليزر

حيث توصف الموجهات في صيغةِ Gerber، التي تعتبر غير ملائمةُ لتمثيل خَطّ لكلّ خَطٍّ line presentation per line ، يَجِبُ أَنْ تُتحوّلَ البيانات إلى المعلوماتِ ل١٠ ميكرون نقاطِ شاشة الشبكةِ. لذا فإن الكمية الأصلية من البياناتِ تتُضاعفُ. إنّ تجميعَ compilation البياناتِ مُؤَدَّى في الزمن الحقيقي بمضاعفة transputers التشغيل بشكل آني. تقرأ البياناتَ خَطَّ لكلّ خَطٍّ وتخَزنَ

على ذاكرة عشوائية RAM بمقدار ٢٥٠ ميغابايتِ. تكون الذاكرة العشوائية RAM كافية لخَزْن بياناتِ التعرّضِ لتقريباً خمسة ألواح دوائر مطبوعة ثنائية الجانب.

٢-٨-٥ منافعِ النقل المباشر للصورة بأشعةالليزر LDI

أي مقارنة بين الفيلم والتعرّضِ لليزر تكشف بشكل واضح عن الفوائدَ التي يقدمها نظامَ الليزرَ من ناحية الجودة وتفاوت الإنتاجِ والتوفير في الزمن والتكلفةِ. التوفير في تكلفةِ الصناعةِ يُمْكِنُ ملاحظته مِنْ أي مما يلي:

- إزالة الأدواتِ الفوتوغرافيةِ والتكلفةِ تنحصر في صناعتِها وخزنِها؛
- زمن إعداد الشغلُ المخفّضُ بين الطبع وصناعةِ لوح الدائرة المطبوعة؛ يمكن أن تبدأ الصناعة بمجرد ما تترك البيانات القسم الهندسي. الزمن الذي تم توفيره (مِنْ ١٠ ساعاتِ للأفلامِ مقارنة إلى ثلاث ساعاتِ بالليزرِ) مهمُ جداً أثناء إنتاجِ النماذجِ prototypes ؛
- إمكانية تَبَنّي طريقة تصنيع مرنِة لتَلْبِية المطالبِ المختلفةِ للإنتاج بدون التأثيرِ على الطاقة الإنتاجيةِ؛ و
- خفض أزمنة إنتظار التصنيع بتَمْكين الصناعةِ من البَدْء بمجرد ترك البيانات القسمَ الهندسي.

بنفس الطريقة، تحسيناتَ الجودة تقدم عِدّة منافع مثل:

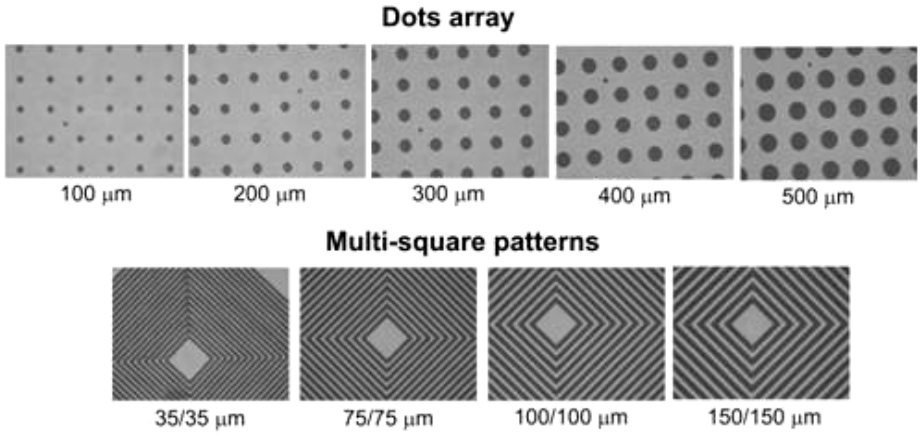
- إزالة عيوب الفيلمِ والطْباعة ذات العلاقةَ؛ و
- إزالة أَو تخفيض تأثيراتِ درجةِ الحرارة والرطوبة على المُنتَجَ نتيجة للبيئةِ المسيطر عليها والمستخدمة ضمن انظمة التصوير بالليزر.

بالإضافة إلى توفير التكلفةِ ومنافعِ تحسينِ الجودة، هناك عدد مِنْ الفوائد الفنية، حيث تم تفسيرها وتفصيلها فيما يلي.

الدقة التحليلية Resolution :

تقدم أنظمةُ التصوير المباشر بالليزر LDI دقة تحليلية محسنة نتيجة لحجمِ البقعةِ.spot size الليزرِية الصغيرة. اقل من ٥٠ ميكرون يُمْكِنُ أَنْ تحلل بسهولة. بتحقيقِ الأمثلية العمليةِ فإنه من الممكن إنْتاج خطوط دقيقة تصل ٣٥ ميكرون في مقاوم ضوء مقدار دقته ٤٠ ميكرون الشكل رقم

(٢-٤١) . مع التحسيناتِ المستقبلية لأنظمةِ التصوير المباشر بالليزر LDI، فإنه من المحتمل أن ندرَك الخطوط الأكثر دقة والتي تصل إلى درجة دقة مقدارها ٢٥ ميكرون.



شكل رقم (٢-٤١) يوضح درجات الدقة

التسجيل Registration :

التحسينات في التسجيلِ مُنجَزة بإزالة الأداةِ الفوتوغرافيةِ، حيث دائما تعطي مشاكلَ ضبط، خصوصاً كلما تُحرّكُت الأدواتَ بشكل غير متساو anisotropically بتغييراتِ الرطوبةَ ودرجةَ الحرارة. مع نظامِ التصوير المباشر بالليزر LDI، من المحتملُ إسْتِعْمال نظام كاميرا CCD(charge coupled device) وهدفِ على لوح التشغيل لتَرتيب صورة الطبع ولوح التشغيل. ومن المحتملُ أيضاً إسْتِعْمال اوضاع الهدف هذه لحِساب أيّ لوح تشغيل أَو حركةِ تثقيب، هكذا يُنجزُ تسجيلاً مُحسَّناً.

التفاوت Tolerances :

أي صنف تفاوت مختلفِ بشكل نوعي مُنجَزُ بإستعمال نظام التصوير المباشر بالليزر LDI. المقياس الصناعي ٠.١ مليمترِ جائزِ خارج الضبط misalignment مِنْ نمطِ التثقيب إلى النمط الموصّل يُمْكِنُ أَنْ يخفض إلى ٠.٠٣ مليمترِ في الحالةِ المثاليةِ.

كيلي وجونز (٢٠٠٢) أوضحا تطبيقَ نقل الصورة مباشرة باليزرِ. جلبت أنظمةَ التصوير المباشر بالليزر LDI التغييراتِ الأساسيةِ في هيئة تعاقبات، وفي الخدمات المساعدة ووسائلِ خزنِ البياناتِ في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة. نظام التصوير المباشر بالليزر LDI الواحد يستبدل كل أنظمة التعرّض في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة. كلتا المهام التي تُنفّذُ حالياً بأنظمة تعرّضِ الفيلمِ التقليديِ والراسم الضوئي photoplotter، يُمْكِنُ أَنْ يُسيطرَ عليها بواسطة أنظمةِ التصوير المباشر بالليزر LDI. تهيئة التحكم بالبرامجَ مع الماكينةِ لتنفيذ المهمّةِ المطلوبةِ يُمْكِنُ أَنْ تَكُونَ مُنَفَّذة بسهولة وكُلّ أنظمة CAD تَعْملُ مَع منضدة منتظمة وكُلّ لوح دائرة مطبوعة سَيكونُ لديه نفس مواصفاتِ المادةِ. إنّ إستعمالَ أنظمةِ التصوير المباشر بالليزر LDI، مُستقبلاً، من المحتمل أَنْ يُخفّضَ وقتَ التطويرَ بشدّة للتجميع الإلكتروني، وهو حَلّ مدهش لكن محتمل.

الباب الثالث

أساليب

النقش (الحفر – التنميش)

Etching techniques

الباب الثالث

أساليب النقش (الحفر – التنميش)
Etching techniques

النقش هو أحد الخطواتِ الرئيسيةِ في المعالجة الكيميائيةِ لعمليةِ لوح الدائرة المطبوعة المطروحة. بهذه العملية، يتم انجاز النمط النحاسي النهائي بالإزالةِ الإنتقائيةِ لكُلّ النحاس الغير مرغوب لتبقى أنماطِ الدائرةِ المطلوبةِ. النحاس الذي لَمْ يتم حمايته بمقاوم النقش etch resist يتم ازالته مِن قِبل عملية النقش etching process. مقاوم النقش هو الحبر المستخدم في طباعة الصورة بطريقة الشاشة على الطبقة النحاسية. وهو أيضاً الحساس المستخدم في نقل الصورة والمعالج ضوئياً في عملية الطباعة الضوئية. الطرق التالية هي طرقُ النقش المستعملةِ عموماً:

- النقش الكيميائي Chemical etching أَو الميكنة الكيمياويةِ chemical machining؛
- النقش الكهروكيمياوي Electrochemical etching أَو التفريز الكيميائي chemical milling ؛ و
- النقش الميكانيكي Mechanical etching (بواسطة التفريز الميكانيكي CNC).

٣-١ محاليل النقش والكيمياءِ
Etching Solutions and Chemistry

هناك عِدّة مواد كيمياوية مستعملة في عملية النقش. ومن المركبات الحفارة etchants الأكثر شيوعاً ما يلي:

- كلوريد الحديد Ferric chloride ؛
- فوق كبريتات الأمونيوم Ammonium persulphate؛
- الحامض الكرومي Chromic acid ؛

- الكلوريد النحاسي Cupric chloride ؛ و
- الأمّونيا القلوية Alkaline ammonia .

الأقسامُ التاليةُ تعطي الخصائصُ، وتفاصيل العمليةَ والكيمياءَ لطرقِ النقش هذه.

٣-١-١ كلوريد الحديد Ferric Chloride:

محاليل الكلوريد الحديدي للنقش كثيرة الإستعمال في عمليتى 'الطباعةِ' و'النقش' المستخدمتان في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة. ويعتبر كلوريد الحديد ذو معدل عال للنقش وذو سعة تحليل نحاسية عالية. وهو مستعملُ مع أحبارِ الشاشة، والمقاوم الضوئي (ذات الافلام الجافة والرطبة) وطَلاء الذهبَ للألواحَ. بينما يهاجم مركب كلوريد الحديد الحفار etchant القصدير، فإنه بهذا لَيسَ مناسباً للألواح المصفحة بالقصدير أوالالواح المصفحة بسبيكة القصدير–الرصاص.

هذا المركب الحفار etchant هو عبارة عن محلول مائيُ مِنْ ٢٨ إلى ٤٢ بالمائة بِالوَزنِ مِنْ كلوريدِ الحديد. المحلول لَهُ وزن نوعي مِنْ ١.٣٥٣ إلى ١.٤٠٢. وهو يعمل بتشكيلة واسعة من التركيزِ، لكنه كثير الإستعمال عند حوالي ٣٥ بالمائة. محلول كلوريدِ الحديد لَهُ تأثير حمضي حر نتيجة للتفاعل التميؤي (تحليل بالماء) hydrolysis reaction التالي:

$$FeCl_3 + 3\ H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 + 3\ HCl$$

ولكي نمْنعَ تكون الهيدروكسيدِ الحديديِ ferric hydroxide العديم الذوبانِ، يضاف عادة أى كمية من حامضِ الهيدروكلوريك hydrochloric، بنسبة حتى ٥ بالمائة من الوَزنِ، حيث يَمْنعُ هذا التميّؤَ التلقائيَ spontaneous hydrolysis لكلوريد الحديد $FeCl_3$ كما في المعادلةِ أعلاهِ. تَحتوي الصياغات التجاريةُ أيضاً الترطيب wetting ومعامل ضِدَّ الرغوةَ anti-foam agents.

في المرحلةِ الأوليةِ لعمليةِ النقش، نجد أن تركيز النحاسِ المذوّبَ يصبح عاليُ بسبب التركيز العالي لكلوريدِ الحديد. وكلما استنفذ كلوريد الحديد بشكل تدريجي في المحلول، فإن زمن النقش بالتناظر يزيد ليمتد ليصبح بعد حين من الوقت مستنفذاً، عند هذه الحالة يجب التخلص من المحلول وإستبداله بمحلول جديد. يَحْدثُ الانحلال الأفضلُ للنحاسِ عندما يرش المركب الحفار etchant

عمودياً على السطحِ النحاسيِ بشرط تحرك اللوح أسفله. معدل الانحلال (الذوبان) rate of dissolution للنحاسُ يعتمد على تركيزِ كلوريدِ الحديد، ومعدل الهياجَ agitation ودرجةَ الحرارة.

كلوريد الحديد هو الاقدم وربما يكون هو المركب الحفار etchant الأكثر شيوعاً. وهو يَجيءُ عادة في الشكل أو التكوين البلورِي. البلوراتَ يتم تذويبها في ماءِ مزال تأينه de-ionized لكي يُنجزَ تركيزَه المطلوبَ في المحلول. المحلول النموذجي يتكون من ٥٠٠ جرام مِنْ كلوريدِ الحديد في لترِ واحد مِنْ الماءِ.

الكيمياء :

الآيون الحديدي Fe^{3+} يُؤكسدُ النحاسَ إلى كلوريدِ النحاسوز cuprous chloride (CuCl) بموجب المعادلة (١). وبالتالي يؤدي كلوريد النحاسوز cuprous chloride (CuCl) الى المزيد من التأكسد إلى كلوريدِ النحاس ($CuCl_2$) بموجب المعادلة (٢)

$$Cu + FeCl_3 \longrightarrow FeCl_2 + CuCl \quad \text{--- (1) Green colour}$$

$$FeCl_3 + CuCl \longrightarrow FeCl_2 + CuCl_2 \quad \text{--- (2)}$$

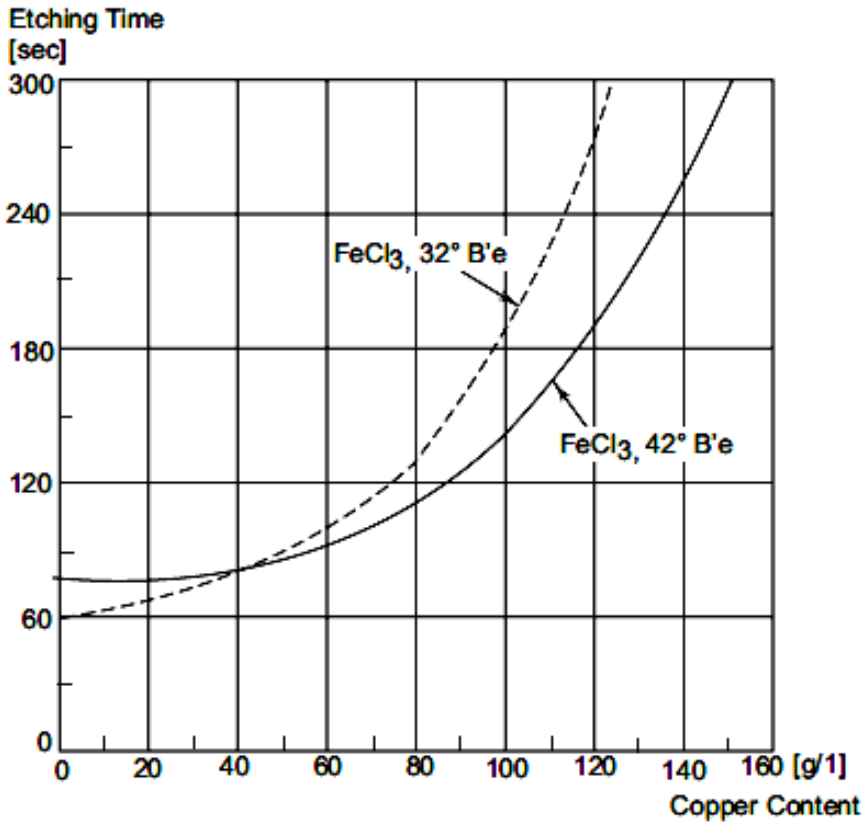
$$CuCl_2 + Cu \longrightarrow 2\ CuCl \quad \text{--- (3)}$$

عملياً، عندما يَحتوي المحلول على ٨ أونس/جالون (٦٠ جرام/لتر) أَو المزيد مِنْ النحاسِ المُذَوَّبِ، فإن زمن النقش يُصبحُ أطولُ مِنْ المطلوبِ. على أية حال، كلوريد الحديد يُمْكِنه أَنْ يُذوّبَ نحاسَ حتى١٢٠ جرام/لتر إذا كان زمن النقش المطوّلِ يُمْكِنُ أَنْ يُتحمّلَ. لكي يَزِيدَ النحاسَ من قدرة الاذابة ولتخفيض زمن النقش بعض الشّيء، يضاف حامض الهيدروكلوريك hydrochloric acid (حتى ١٠ بالمائة مِنْ حجمِ المركب الحفار etchant) بَعْدَ أَنْ يصل المحتوى النحاسيَ إلي ٨٠ جرام/لتر. يُساعدُ الحامضُ أيضاً على السَيْطَرَة على تكون الأوحالِ المفرطِة. الشكل رقم (٣-١) يوضح إعتمادَ زمن النقش مقابل المحتوى النحاسيِ في المركب الحفار etchant.

لأغراضِ الرصد ولمعْرِفة التركيزِ النحاسيِ المضبوطِ في المركب الحفار etchant، يجب عمل التحليل الكيميائي. أي محلول أقل دقة لكنه محلول عملي يجب أَنْ يَستعملَ طريقةَ قياس الالوان

colorimetric method لمقارنة اللونِ مع المحاليل القياسيةِ ذات المحتوى النحاسيِ المعروفِ. بالمتوسط، لحَفْر واحد كيلوجرامِ من النحاس، فإن ٥.١ كيلوجرام مِنْ كلوريدِ الحديد سَيَستهلكُ، بدرجة حرارة نقش في مدى من ٢٠–٤٥ سنتيجراد.

لسوء الحظ، كلوريد الحديد مادة آكالة corrosive في الطبيعةِ وتترك لطخاتِ مُظلمةِ. علاوة على ذلك، فهو عادة صعب إعادة توليده لإعادة إستعماله. إذا استخدمت مادة اللحامِ أَو عامة القصدير كقناع، فإنه سَيُهاجمُه.



شكل رقم (٣–١) يوضح العلاقة بين زمن النقش ومحتوى النحاس المذوب عند حرارة ٤٣ سنتيجراد، مركب الحفر مرشوش، سمك النحاس ٣٥ ميكرون

تركيبة كلوريدِ الحديد للمركب الحفار Etchant

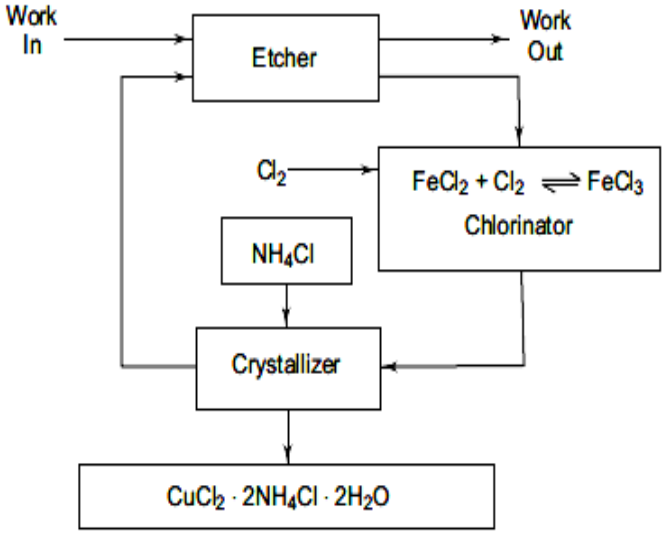
:Composition of Ferric Chloride Etchant

- $FeCl_3$ [ferric chloride] → 450 — 500 g/lt
- Specific gravity → 1.35 to 1.4
- Copper dissolving capacity → 120 g/lt
- HCl (hydrochloric acid) → 10 ml/lit.
- Temperature → 20-45 °C
- Anti-foaming agent → 3 ml/l

الوزن النوعي Specific gravity هو النسبةُ بين كثافة مادة إلى كثافةِ مادة الاسناد. الوزن النوعي الظاهر هو النسبةُ بين وزنِ كمية المادةِ إلى وزنِ الكمية المساويةِ مِنْ مادةِ الإسناد. إنّ مادةَ الإسناد بشكل دائم هى تقريباً الماءُ للسوائلِ أَو الهواءِ للغازاتِ.

عملية التحكم والتجديد Process Control and Regeneration :

تجديد المحلول شبه مستحيلُ بينما التخلص منه يعتبر فقد كبير. ينفذ التجديد فقط نتيجة للحاجةِ لفَصْل كلوريدِ النحاس عنْ كلوريد الحديد.



شكل رقم (٣-٢) يوضح عملية الكشف والتجديد المقفلة الحلقة لكلوريد الحديد باستخدام إعادة البللورة

يمكن أن تجدد مركب كلوريد الحديد الحفار etchant الشكل رقم (٣-٢) بإمرار غازِ الكلورِ chlorine gas وتعرية النحاس مِنْ المركب الحفار etchant الحديدي بواسطة البللورةِ crystallization. إضافة كلوريدِ الأمونيومِ ammonium chloride وتُبريده إلى درجةِ حرارة البيئةِ، تسمح ببلورة ملح مضاعف الكلوريدِ salt double chloride وهو ($CuCl_2.2NH_4Cl.H_2O$) وكلوريد نُحاسيك نُشادري cupraammonium المرسب المعقد التركيب.

٣-١-٢ فوق أوكسيد الهيدروجينِ — حامض كبريتيك
Hydrogen Peroxide — Sulphuric Acid:

هذا النظامِ يُستَعملُ على نطاق واسع لتحضيرِ سطح النحاس copper surface preparation والذي يسمى أيضاً النقش الدقيقَ micro-etching. وهو متوافقُ مع المقاومات العضويةِ والمعدنيةِ ويُزوّدُ بمعدل نقش منتظم مع القطع التحتي الامثل. هو نظام مقبول جداً نتيجة لسهولة تجديدِه، وكشف النحاس ذو الحلقة المغلقة closed loop copper recovery وحاجتة لطريقةِ معالجةِ النفايةِ البسيطةِ.

$$Cu + H_2O_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + 2H_2O$$

المركب الحفار وشروط العملية :

• H_2SO_4 (96 %)	Sulphuric acid	100 ml/lit
• H_2O_2	Hydrogen peroxide	70 ml/lit
• $CuSO_4$	Copper Sulphate	60 g/lit
• Temperature		30 to 40 °C

التحكم في العملية والتجديد :

يستعمل المركب الحفار المتكون من فوق أوكسيد الهيدروجينِ/حامض الكبريتيك، في عمليات الحفر بطريقة الغمرِ بالإضافة إلى طريقة الرش (التزذيذ). يتم التحكم في العمليةَ بواسطة توازن التركيبِ بتحسّينِ كبريتاتِ النحاسيةِ كالناتج العرضي في أنظمةِ الحلقةِ المُغلقةِ. تَتطلّبُ مثل هذه الأنظمةِ إعادة التوزيعِ المستمر للمركب الحفار في خزان النقش، حيث تبديل المركب الحفار يكون محكوماً بواسطة التحليلِ الكيميائيِ. عموماً المشاكلُ المصادفة تَتضمّنُ: عمليةً التسخين الاكثر من اللازمِ، واتزان تركيبة المركب الحفار، وتلوّث المركب الحفار والأخطار في معالجة المحاليل الفوق أوكسيدية المركزة.

٣-١-٣ خليط حامض الكبريتيك والكروميك :Chromic-Sulphuric Acid

يستعمل الحامض الكرومي المخَلوطَ بحامضِ الكبريتيك نتيجة لقدرته المؤكسدة القوية ومقدرتة الملائمةِ لكُلّ أنواع مقاوم المعدنِ metal resists مثل القصدير أو سبيكة القصدير–الرصاص أو الذهب، أو طلاء الفينيلِ أو المقاوم الضوئي السائل liquid photo-resist .

معدل النقش لهذا المخلوط متناقص، لَكنَّ لَهُ ميزة القطع الغير كافي والصَغير little under-cutting. على أية حال، إستعماله محدد الآن حيث من الصعب تَجديده وهو سامُّ جداً، وملوث وخطير على الصحة. وهو عموماً لا يوصّى بهَ للإستعمالِ.

الكيمياء :

التفاعل بين حامضِ الكرومي والنحاسِ يتضح من المعادلة التالية:

$$3Cu + 2HCrO_4 + 14H^+ \longrightarrow 3Cu^{2+} + 2Cr^{3+} + 8H_2O$$

في هذا النظامِ، معدل النقش للنحاسِ لَيس عال جداً، لَكنَّ يُمْكِنُ زيادته بإضافة كبريتاتِ الصوديومِ sodium sulphate. معدل النقش يُمْكِنُ أيضاً يزيد برفع درجةِ الحرارة ودرجة الهياجِ أو الإثارة agitation.

تركيب المركب الحفار وشروط العملية :

- Chromic acid 200 to 240 g/l
- Sulphuric acid 60 to 65 ml/l
- Sodium sulphate 40 to 45 g/l (additive)
- Temperature 20 to 30 °C

التحكم في العملية والتجديد :

هذا المركب الحفار etchant مستعملُ في النقش بطريقة الغمرِ immersion etching ولَيسَ في النقش بطريقة الرذاذِ spray etching. معدل الحفر etch rate محكوم بواسطة طريقة قياس اللون colorimetric القياسية، بينما الكثافة مُقاسة بواسطة وحدة الهيدرومتر hydrometer . التجديد لم يكن قيد الإستعمال الشائع بسبب الطبيعةِ الآكلةِ للمُنتَجاتِ ومعالجة الأخطارِ. على سبيل المثال، الحامض الكرومي chromic acid هو عاملُ تأكسد قوي جداً ويهاجم الملابس، والبلاستيك والعديد مِنْ المعادنِ إذا لم تكن إجراءاتِ سلامة متبنية إبْعاد الأدخنة عن الهواءِ خلال التهويةِ الملائمة. بنفس الطريقة، صَرفَ الحامضُ الكروميُ أيضاً يسبب مشكلة النفاية الخطيرة، التي مَنْ الضَّرُوري أَنْ تُعالجَ في مثل هذه الطريقة حيث تمتثلُ إلى معاييرِ التحكم في التلوثِ القياسي.

٣-١-٤ كلوريد النحاس Cupric Chloride:

يقدم كلوريدُ النحاس حَلٌّ إقتصاديُ لنوع التصنيع المسمى "الطباعة والنقش" لألواح الدوائر المطبوعة على تدريج أكبر. مِنْ وجهةِ نظر التلوثَ، هذا المركب يقدم ميزة سهولة المقدرة على التجديد regeneratability مع إمكانيةِ التخلص السهل نسبياً، وطاقة إنتاجية عالية وأفضل استرداد للمواد. تعتبر سعة النحاس المذاب عالية حيث تصل إلى ١٥٠ جرام/لتر.

في الأداءِ، يُقارنُ جيداً كلوريدَ النحاس بكلوريدِ الحديد، بميزة عدم وجود أوحالُ ككلوريد الحديد في ختام العملية. أساساً، هو محلول مائيُ وسَيكونُ لديه ١٥٠-٤٠٠ جرام مِنْ كلوريدِ النحاس. ويضاف إليه بعضُ من حامض الهيدروكلوريك hydrochloric acid (HCl) مَع كمية كبيرة (حتى حدّ الإشباع) مِنْ كلوريدِ الصوديومِ sodium chloride (NaCl) أَو كلوريد الأمونيومِ ammonium chloride (NH4Cl).

يستخدم نظامَ النقش بكلوريدِ النحاس في إنتاجِ الالواح ذات الطبقات المتعددة للخطوط الرفيعة fine line multi-layer (طبقات داخلية) ونظام "الطباعة والنقش". وهو متوافقُ مَع المقاومات resists مثل أحبار الشاشةِ، والفيلم الجاف، والفيلم السائل ، ومقاوم الضوء photoresist والتصفيح بالذهب، ماعدا مقاومات القصدير المصفح أَو مقاوم القصدير–الرصاص المصفح .

الكيمياء :

التفاعل العام للنقش عن طريق كلوريدِ النحاس ($CuCl_2$) يُذوّبُ نحاساً (Cu) كما يتضح من المعادلة التّالية:

$$Cu + CuCl_2 \longrightarrow 2\,CuCl \quad \text{--- (i)}$$

كلوريد النحاسوز cuprous chloride (CuCl) من ثمّ يتم إعادة أكسدته ثانيةً لتَجديد كلوريدِ النحاس النشيطِ–الحفر بالأوكسجينِ الموجود في الجوِّ.

$$2CuCl + 2HCl + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,CuCl_2 + H_2O \quad \text{--- (ii)}$$

في هذه العمليةِ ، يتم صرف كمية صغيرة مِنْ المحلول بشكل مستمر للإبْقاء على تركيزِ النحاس ثابتاً. المستوى يتم الحفاظ عليه بإضافةِ محلول من حامضِ الهيدروكلوريك hydrochloric، وكلوريد الصوديوم sodium chloride أَو كلوريد الأمونيومِ ammonium chloride وهيدروكسيدِ الأمونيومِ ammonium hydroxide .

تركيبة المركب الحفار Etchant Composition:

• Cupric chloride	200 g/l
• Hydrochloric acid	200 ml/l
• Water	770 m/l
• Initial copper concentration	40 g/l
• Hydrogen peroxide	30 ml/l (optional)
• Temperature	30° to 40 °C

التحكم في العملية والتجديد :

الطريقة المعطاة في المعادلةِ (ii) عموماً لَيستْ مستعملةَ للتجديدِ لأن معدل تفاعل الأوكسجينَ في الاحماض بطيئ وقابليةُ الذوبان للأوكسجينِ في المحلول الساخن محدد لـ٨ إلى ٤ ppm (التمييز Ppm في الكيمياءِ يُؤيّدُ الأجزاءَ في المليون. وهو مقياس لتركيزِ المحلول. على سبيل المثال ، محلول مادة الكلور ٥.٢٥ % (غير مخفّف كما هو مجهّز من قبل المنتج) يَحتوي تقريباً على٥٢,٥٠٠ جزءَ لكلّ مليون مِنْ الكلورِ المتوفرِ الحر.) وهى تكافيء المليجرام/لتر . ومن ناحية أخرى، عملية الكلورة chlorination المباشرة تعتبر اسلوب مفضّلَ لتجديدِ المركب الحفار etchant النحاسي بسبب كلفته المنخفضة، ومعدله العالي والكفاءة في تحسّينِ النحاسِ. التفاعل الكيمياوي لتجديدِ العملية:

$$Cu + CuCl_2 \longrightarrow Cu_2Cl_2$$

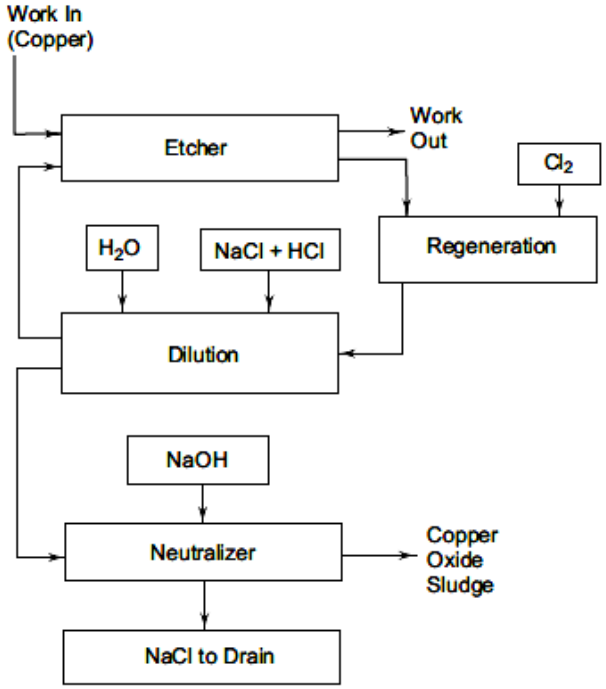
تُؤدّي عمليةُ الكلورة chlorination إلي:

$$Cu_2Cl_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\,CuCl_2$$

تسلسل العمليةَ يوضح في الشكل رقمِ(٣-٣). الكلور Chlorine، وحامض الهيدروليك hydrochloric ومحاليل كلوريد الصوديومَ يتم تغذيتها آلياً إلى النظام كما هو مطلوب. أجهزة

المراقبة للعملية المُخْتَلِفة مثل مقياس الألوان (الشدة اللونية) colorimeter، ومحسّساتَ المستوى level sensors، ومراقبة درجة الحرارة وترتيبِ التحكم، ومقياس معدل النقش، ... إلخ، تساعدُ لإنْجاز النَتائِجِ القصوي (الأمثل).

عملية التجديدِ أعلاهِ أقل تكلفة ولديها معدل عال مِنْ التحسّنِ النحاسي. يُمْكِنُ أَنْ يُباعَ المركب الحفار etchant المستهلك بسهولة نظراً لمحتواه النحاسي. يُحتملُ أَنْ يَكُونَ هناك عِدّة مشاكل بنظامِ كلوريدِ النحاس إذا لم يتم التحكم في بارامتراتِ العملية بشكل صحيح. المستوى الأهمّ هو معدل النقش المنخفض الذي يعود إلى درجاتِ حرارة منخفضةِ، والهياج الغير كافي أَو قلة التحكم في المحلول. تكون الطين المرسب Sludging يُمْكِنُ أَنْ يَحْدثَ أيضاً إذا كان التركيزِ الحامضي منخفضُ. قَدْ تؤدّي درجات الحرارة المرتفعة ووجود الحامضِ الفائضِ إلى انهيار مقاومات الضوء breakdown of photo-resists .



شكل رقم (٣-٣) يوضح نظام التجديد بكلوّرة كلوريد النحاس

٣-١-٥ فوق كبريتات الأمونيوم Ammonium Persulphate:

يُستَعملُ فوق كبريتات الأمونيوم (APS) كثيراً كمركب حفار etchant نظراً لعدم إحتوائه على أغلب أضرارِ كلوريدِ الحديد. وهو يُستَعملُ أيضاً في التحضيرِ السطحي للتصفيح الغير كهربي electroless، ويَطْلي قبل تغطية الأوكسيدِ في ألواح الدوائر المطبوعة متعدّدة الطبقات. لسوء الحظ، بينما يكون فوق كبريتات الأمونيوم عامل تأكسد قوي، إلا أنه غير مستقرُ في المحلول ويَتفسّخُ لتَشكيل فوق اكسيدِ الهيدروجينِ hydrogen peroxide ، والأوكسجين وحامض فوق أوكسيد الكبريتيك peroxydisulphuric. الأخير عامل اكسدة oxidizer بطيء عند درجةِ حرارة الغرفةِ ويُؤدّي إلى معدل حفر منخفض، الذي يُمْكِنُ أَنْ يكون على أية حال، مُعَجَّل بواسطة إضافةِ محفّز كلوريدِ زئبقي mercuric chloride catalyst عندما يُصبحُ مقارن مع كلوريدِ المركبات الحفارة etchants. ويجدر بالذكر أنه متوافقُ لكُلّ المقاومات على الألواحِ متضمنة مادة اللحام، القصدير، القصدير–الرصاص والشاشة ومقاوم الضوء، ماعدا مقاومات الذهبِ المصفح.

صياغات فوق كبريتات الأمونيوم ammonium persulphate تَحتوي حامضَ الكبريتيك sulphuric acid المحفز catalysed مع الكلوريد الزئبقي يَعطي معامل حفر جيد وتجديدَ سهلَ في نظامِ الحلقةِ المُغلقة. لكن هذا النظامِ غالي بالمقارنة مع مركبات الحفر الاخرى etchants وإستعماله انحدر لكُلّ الأغراض العملية.

الكيمياء :

فوق كبريتات الأمونيوم (أَو البوتاسيوم) يتم خلطه مع حامضِ الكبريتيك للحصول على ملح مستقرّ لحامض فوق كبريتات ($H_2S_2O_8$) persulphuric acid. آيون الفوق كبريتات $(S_2O_8^{2-})$ هو عبارة عن عامل تأكسد قوي ويُذوّبُ في الماءِ. أثناء نقش النحاس، يتفاعل آيونَ الفوق كبريتات persulphate هذا مع معدنِ النحاسِ والتفاعل الابتدائي هو:

$$Cu + (NH_4)\,S_2O_8 \longrightarrow CuSO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

الذي فيه أيون الفوق كبريتات $S_2\,O_8^{2-}$ يولد آيونين كبريتات SO_4^{2-} في نفس الوقت يُوكسدُ ذرّة النحاسِ المعدني إلى آيون نحاسي:

$$S_2O_8^{2-} + Cu \longrightarrow 2\,SO_4^{2-} + Cu^{2+}$$

إذا كـان مقـاوم القصـدير أو مقـاوم القصـدير–الرصـاص اسـتخدم كطبقـة تغطيـة، فـإن ألـواح الدوائرالمطبوعة سيتم حفرها في APS . النقش الغير كامل للنحاسِ والإظلام نتيجة لمادة اللحام يُمْكِنُ أَنْ يُزالا بإضافةِ ١ بالمائة من الحامض الفوسفوري.

تركيب المركب الحفار وشروط العملية :

- Ammonium per sulphate
  - $(NH_4)_2 S_2O_8$ → 200 g/lt
  - Sulphuric acid H_2SO_4 → 10 ml/lt
  - Mercuric chloride H_2Cl_2 → 0.5 ml/lt or 5 ppm
  - Temperature → 30° to 40 °C

التحكم في العملية والتجديد :

انظمة فوق كبريتات الأمونيوم Ammonium persulphate مستعملة في كلا من تشغيلات الحفر بالرذاذ أو بالرش spray etching والحفر بالغمر immersion etching. ويصمم النظامَ تَحْتَ سَيْطَرَة مقياسِ الألوان (الشدة اللونية) colorimetric. ملفات التَبريد تستَعملُ للإبْقاء على ثبات درجة حرارة المركب الحفار etchant ومْنعُ الاضطراب. درجةَ الحرارة المُفَضَّلةَ هى ٤٥ سنتيجراد.

القدرة الفعالة للمركب الحفار etchant تساوي حوالي ٧ أونس/جالون من النحاس عند درجة حرارة مقدارها ٣٨ إلى ٥٥ سنتيجراد. أكثر من ٥ أونس/جالون من النحاس، يَجِبُ أَنْ تُبقي درجة حرارة المحلول عند قيمة مقدارها ٥٥ سنتيجراد لمَنْع بلورةِ الملحِ. معدل الحفر للمحلول المتكون من ٧ أونس/جالون مِنْ النحاسِ المُذَوَّبِ هو ٠.٠٠٠٢٧ بوصة/دقيقة عند درجة حرارة مقدارها ٤٨ سنتيجراد.

يتكون مركب الحفر etchant المُنهَك أو المستنفذ بشكل رئيسي مِنْ الأمونيومِ أَو الصوديومِ وكبريتاتِ النحاس مَع pH تساوي حوالي ٢. التفريغ المباشر لهذا المحَلِّول إلى البالوعةِ غير مسْمَوحُ

بـه. لـذا، يجـب أنْ يُـزالَ النحـاس المـذوب، وبعـد ذلـك يجـب أنْ يخفـف المحلـول البـاقي، ويعـادل والتخلص منه.

عُموماً، فوق كبريتات كل من الأمونيوم والصوديوم والبوتاسيوم ، مع إضافةِ بَعْض المحفّزاتِ، يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ لنقش النحاسِ في تصنيع لوح الدائرة المطبوعة. على أية حال، الأنظمة المستمرة التجديد والمؤسسة على فوق كبريتات الأمونيومِ أَصْبَحت أكثر شيوعاً. ويعتبر مركب الفوق كبريتات Persulphate من المركبات المُفَضَّلُة لأن لَها أقل مشاكلُ تخلص وبعض القدرةِ الاعلى من النحاس ومعدلات الحفر.

٣-١-٦ كلوريد الأمونيومِ/النشادر القلوي

:Alkaline Ammoniacal /Ammonium Chloride

نظام النقش بالنشادر القلوي Alkaline ammoniacal etching system مستعملُ في كل من انظمة الحفر بالرذاذ ذات السيور الناقلة conveyor أو الانتاج بالدفعة batch وهى متوافقة مع المقاوم المعدني والمقاوم العضوي. فوائدَ هذا المركب الحفار etchant هى القطع التحتي الأدنى، وقدرة الاذابة العالية للنحاس ومعدلات الحفر السريعة. مركبات الحفر القلويةAlkaline etchants تزوّدُ بمعدلات نقش مستمر من ٣٠-٦٠ ميكرون من النحاس/دقيقة عند محتوى نحاسي مُذَوَّب مقداره ١٥٠ جرام/لتر في مركب الحفر etchant.

الكيمياء :

تعمل محاليل النقش القلويةِ Alkaline etching solutions على اذابة النحاس المكشوف لألواح الدوائر المطبوعة بواسطة عملية كيمياويةِ تتَضْمن الأكسدة oxidation، والتَذْويب solubilizing والتعقيد complexing. هيدروكسيد الأمونيوم وأملاح الأمونيومِ يَندمجا مع الآيونات النحاسية لتَشكيل آيوناتِ الأمونيومِ النحاسيِ المعقّدة $[Cu\ (NH_3)_4^{2+}]$، حيث يمسك النحاس المَحْفُور والمُذَوَّب في المحلول عند ١٨ إلى ٣٠ أونس/جالون.

تفاعلات الأكسدةَ لأنظمةِ الحلقةِ المُغلقةِ التي توضح تفاعل الآيونِ النحاسيِ على النحاسِ واكسدة الهواء (O_2) لآيونِ النحاسوز (حاوي لنحاس أحادي التكافؤ) cuprous المعقّد:

$$Cu + Cu(NH_3)_4^{2+} \longrightarrow 2\,Cu(NH_3)_4^{+}$$

$$4\,Cu(NH_3)_2^{+} + 8NH_3 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4\,Cu(NH_4)_4^{2+} + 4OH^{-}$$

هذه العمليةِ يُمْكِنُ أَنْ تستمر طالما قدرة تثبيت أو مسك النحاس لَمْ تُتجاوزْ. بسبب قدرة تذويب (انحلال) النحاس العاليةِ high copper dissolving capacity، فإن النظام (المغَلقَ الحلقةً) يُستَعملُ على نحو متزايد في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة. وظائف المكوناتِ المختلفةِ لمركب الحفر etchant هذا مُفصّلة فيما يلي.

Cu^{+2} (آيونات نحاسية): تقوم بفعل عواملِ التأكسد oxidizing agents وتُذوّبُ النحاس المعدني؛

هيدروكسيد الأمونيومِ (ammonium hydroxide) NH_4OH : عامل تعقيد (تركيب) complexing ويَمسك (يحمل – يحتفظ ب) أيضاً النحاس في المحلول؛

كلوريد الأمونيومِ (ammonium chloride) NH_4Cl: يُحسّنُ معدل الحفر وقدرةَ حمل النحاس وإستقرار المحلول؛

ثاني كربونات الأمونيومِ (ammonium bicarbonate) $NH4HCO_3$: تعمل كحاجز لإبْقاء سطحِ اللحامَ المعدنيَ؛

نترات الأمونيومِ (ammonium nitrate) $NH4NO_3$: تَزِيدُ سرعةُ النقش وتَبقي سطح معدنَ اللحامَ solder metal surface

فوسفات الأمونيومِ (ammonium phosphate) $(NH_4)_3PO_4$: يَحتفظُ باللحامِ النظيفِ وطَلاء خلال الفتحاتِ؛

كلوريد الصوديوم (sodium chlorite) $NaClO_2$: أيضاً عامل تأكسد الذي يتفاعل ويُذوّبُ النحاسَ المعدنيَ.

التركيب وشروط التشغيل :

- Ammonium bicarbonate 75 g/l
- Ammonium nitrate 80 g/l
- Cupric chloride 200 g/l
- Ammonium chloride 100 to 110 g/l
- pH 7.8 to 8.2
- Temperature 45 to 55 °C
- Specific gravity 1.2 at 20 °C
- Copper content 150 to 160 g/l

التحكم في العملية والتجديد :

محاليل النقش تعمل بين ٥٠-٥٥ سنتيجراد وهى مناسبة بشكل جيد للنقش بالرش. من الضروريُ أَنْ يَكُونَ لديها نظامُ عادمِ كفوءِ لإبْعاد أدخنةِ الأمّونيا التي تصدَر أثناء العمليةِ.

أي معدل حفر ثابت يُمْكِنُ أَنْ يبقي بإستعمال التغذية الآليِة المحكومة بواسطة الوزن النوعي specific gravity أَو الكثافة density. في هذه الطريقةِ، كلما تم حفر الألواح المطبوعة، يصبح النحاس مُذَوَّباً في المحلول، مؤدياً إلى الكثافةِ المتزايدةِ مِنْ محلول النقش. عندما تصل كمية النحاسِ في المحلول إلى حدُّه الأعلى، فإن المضخّة تُنشّطُ لإعادة ملئ محلول النقش وبشكل آني أزالْة مركب الحفر etchant حتى تنجز الكثافةِ المطلوبة.

النظامَ مُجَدَّدُ بإزالةِ محلول النقش المستهلكِ أَو بالإعادةِ الكيميائيةِ لمركب الحفر etchant المستهلك. تَتضمّنُ هذه العمليةِ خَلْط من مركب الحفر etchant المستهلكَ مَع أوكسيمات الهيدروكسيل hydroxyl oximes (مذيب عضوي)، الذي يكون قادر على إنتِزاع النحاسِ. هذا الخَلِيْطِ يَحتوي نحاساً مُخْتَلَطُ بحامضِ الكبريتيك لنحْصلَ على كبريتاتِ النحاس ومركب الحفر etchant الخالي من النحاس مُعَالَج مرة ثانيةُ. بالتناوب، فإن مركبات الحفر etchant مبرّدُة (cooled chilled) والملح الراسب يُرشّحُ حيث يتلى مِن قِبل إعادة معالجة المحلول بتعديلِ شروط التشغيل. التجديد بهذه الطريقة، على أية حال غالي وفعّال فقط لوسائلِ الدائرةِ المطبوعةِ الكبيرةِ.

جدول رقم (٣-١) يوضح معاملات الحفر لمركبات الحفر الشائعة

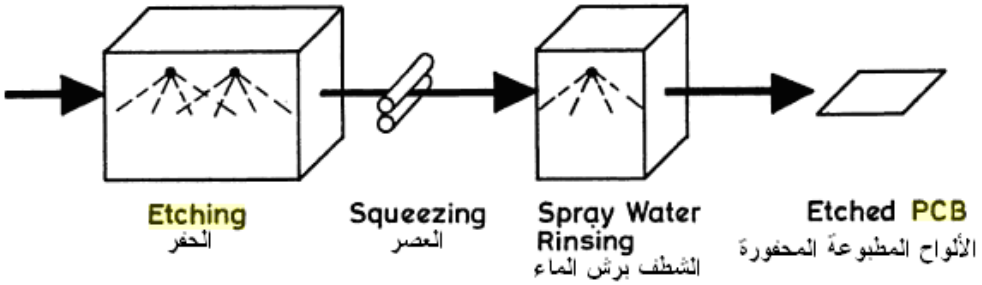
Etchant	Etch Factor (V/H)	Remarks
Ferric Chloride	2.4	40 ° C 35 ° Be¢
Cupric Chloride	2.3	50 deg. C 42 ° Be¢
Chromic-Sulfuric Acids	2.0	45 to 50 deg. C
Ammonium Persulfate	2.2	50 deg. C
Alkaline Ammonia	1.2	45 to 50 deg. C

٣-٢ ترتيبات النقش Etching Arrangements:

٣-٢-١ النقش الإنتاجي البسيط بالدفعةِ

Simple Batch Production Etching:

نقش الدفعةِ Batch etching مطبق في المختبراتِ والصناعات الصغيرة عن طريق السلسلةِ الصغيرةِ لألواح الدوائر المطبوعة حيث يَجِبُ أَنْ تكُونُ مَحْفُورة من حينٍ لآخر. هذا الترتيبِ البسيطِ لنقش ألواح الدوائر المطبوعة شكل رقم (٣-٤) يَتضمّنُ إستعمالَ المركب الحفار etchant حتى الإشباعِ أَو حتى أن تصبح سرعةِ النقش بطيئةَ جداً. من ثم يصبح المركب الحفار etchant مستغنى عنه ويتم مليء ماكينة الحفر بمحلول جديد.

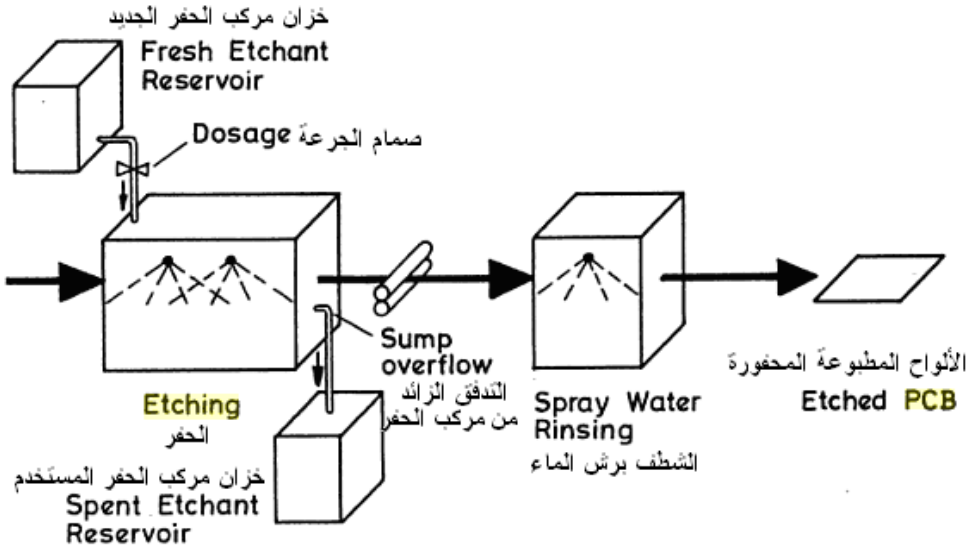


شكل رقم (٣-٤) يوضح النقش الإنتاجي البسيط بالدفعةِ

عندما يتم البدء بنقش الدفعة الجديدة لألواح الدوائر المطبوعة، فإن زمن النقش الأمثل يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مبدئياً مُحدَّد. مركب الحفر etchant المثالي المستعملَ في هذه الطريقةِ هو كلوريدُ الحديد.

٣-٢-٢ نقش التغذية المستمرِ Continuous Feed Etching:

في هذه الطريقةِ ، يتدفق السيل المتواصل الصغير لمركب الحفر etchant الجديد أمّا بشكل مستمر أَو بشكل دوري، شكل رقم (٣-٥) إلى بالوعة مركب حفر etchant بينما كمية مساوية لمركب الحفر المشبع بشكل جزئي etchant تُزالُ بشكل آني.

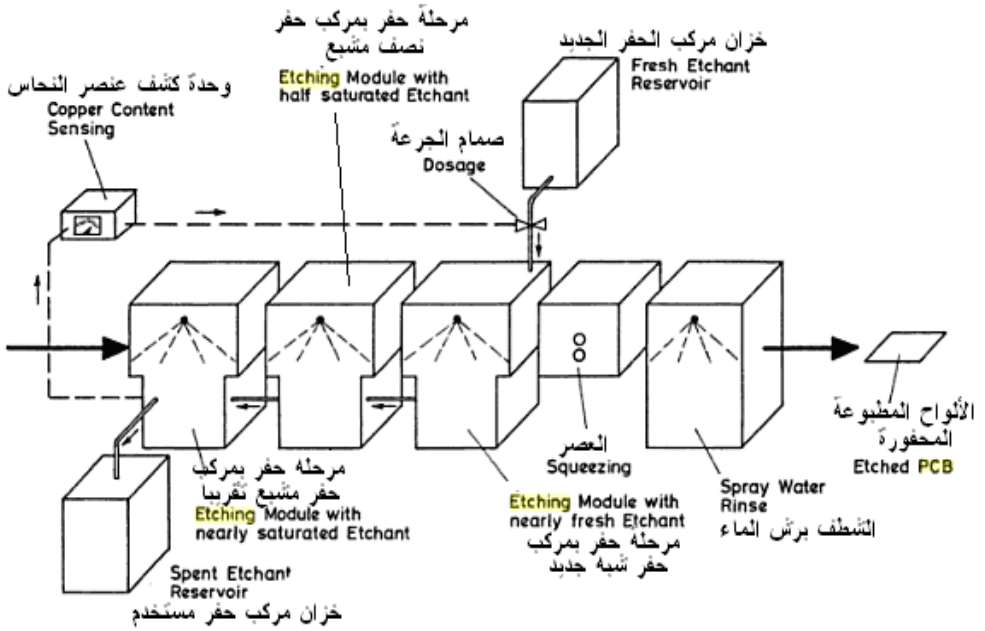


شكل رقم (٣-٥) يوضح نقش التغذية المستمرِة

لكي تستعملَ القدرة الكاملة لتحليل النحاس لمركب الحفر etchant، من الضروريُ أَنْ يَكُونَ لديها نقش بسرعة بطيئةِ جداً (سرعة السير الناقلِ). هذا، على أية حال، يُؤدّي إلى معدل إنتاجية منخفض. لذا يشتغل النظامَ في نمط مَع مركب حفر مشبع بشكل جزئي etchant فقط والذي يَعطي، تقريباً، نَتائِج ثابتة عند سرعة نقش معقولةِ. على أية حال، قدرة الحَلّ النحاسيةِ copper-

solving capacity لمركب الحفر etchant لَمْ تستَعملْ بشكل مثالي. مركب الحفر etchant المثالي المستعملَ في نظام نقش التغذية المستمرةِ هو بشكل عام كلوريدُ الحديد.

إقتصاد مركب الحفر etchant في أنظمة التغذية المستمرة يُمْكِنُ أَنْ تُحَسّنَ بتَعَاقُب عِدّة وحداتِ النقش شكل رقم (٣-٦). في مثل هذا النظامِ، الوحدة الأولى تَحتوي أغلب مركب الحفر etchant المشبع تقريباً، بينما الوحدات التالية المربوطة معاً لَها محتوى نحاسيُ متناقصُ في مركب الحفر etchant والوحدة الأخيرة تشتغلُ مَع مركب الحفر etchant الجديد تقريباً. عادة، ثلاثة أو أربع وحداتِ تَتعاقبُ ويتدفقُ مركب الحفر etchant بين الوحداتِ ذاهباً عن طريق فيضاناتِ البالوعة. يَعطي هذا الترتيبِ سرعة نقش معقولة معطاة في تركيبة مع إستخدام كامل عملياً لقدرة مركب الحفر etchant المذوب للنحاس. أي مشكلة مثالية مع أنظمةِ النقش المُتَعاقَبةِ هو الحاجةُ للإبْقاء على المحتوى النحاسيِ ضمن حدودِ معينة في كل واحدة مِنْ الوحداتِ.

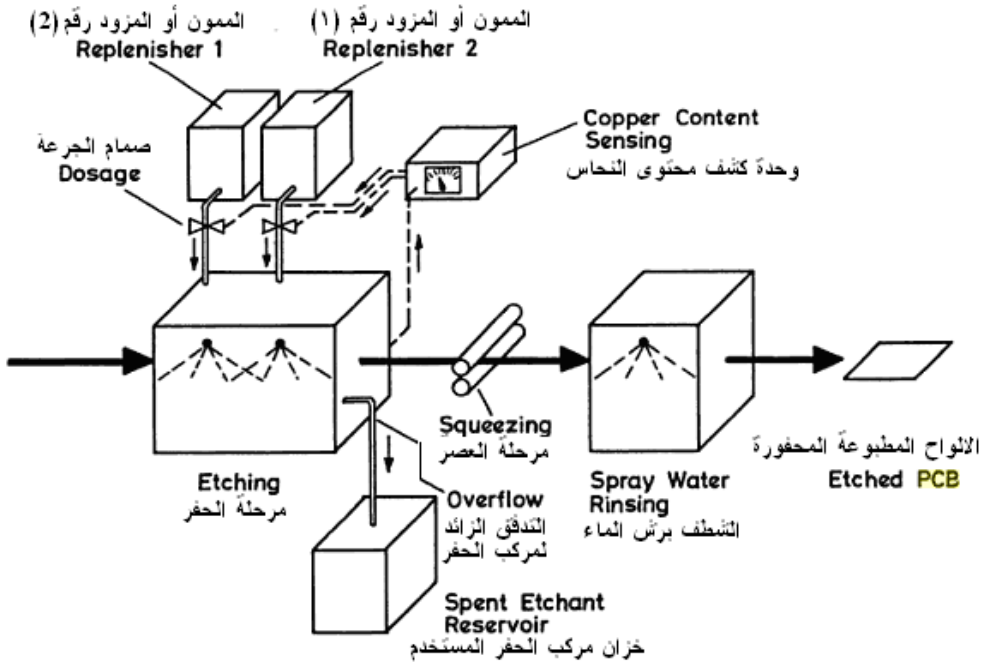


شكل رقم (٣-٦) يوضح نقش التغذية المستمرة المتعاقب الوحدات

٣-٢-٣ النقش بالتجديد ذو الحلقةِ المفتوحة

:Etching With Open Loop Regeneration

الطرق الموصوفة في القسمِ السابقِ تعتمدُ على إستخدامِ إضافةِ من مركب الحفر كامل القوة سبق خلطه، بينما أنظمة تجديدِ الحلقةِ المفتوحةِ تَستخدمُ إضافةَ المضافات الكيمياويةِ chemical additives مثل replenishers ومواد تجديدِ كيمياوية لكي يَبقيا أداءَ النقش في مستوى ثابت الشكل رقم (٣-٧).



شكل رقم (٣-٧) يوضح النقش بالتجديد ذو الحلقةِ المفتوحة

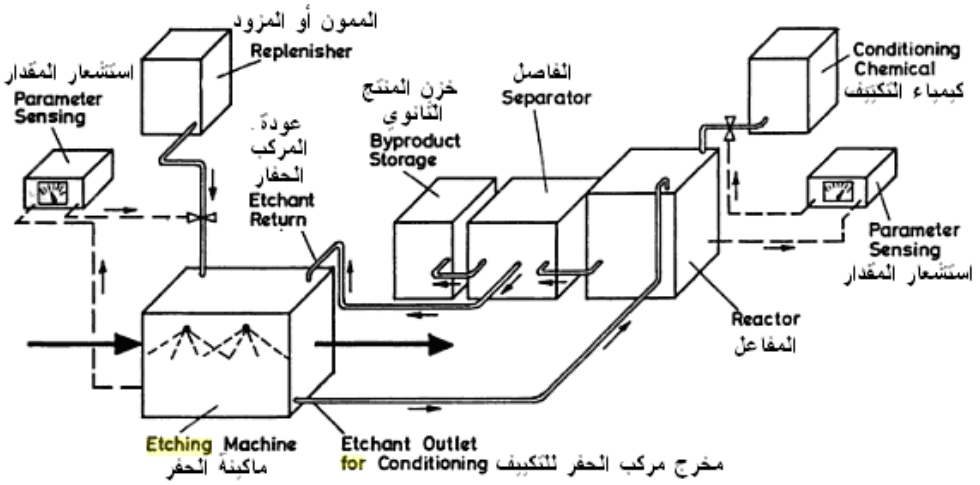
في مثل هذه الأنظمةِ، التي تكون في الغالب آلية التشغيل، تركيب مركب الحفر etchant مُرَاقَبُ عن طريق محسّس للقيمةِ pH، إمكانية الاختزال-الأكسدةَ oxidation-reduction potential (redox potential)، أو الوزن النوعي أواللون.المركب الحفار etchant الأكثر مثاليةً المستعمل في تجديدِ الحلقةِ المفتوحة هو كلوريدُ نحاسيُ cupric chloride الذي يَسْمحُ لتحليل

dissolution نموذجياً ١٣٠ جرام من النحاس لكلّ لترٍ من المركب الحفار etchant المنصَرفَ. التجديد للحلقةِ المفتوحة يُمْكِنُ أيضاً أَنْ ينفذ يدوياً، خصوصاً لحجومِ الإنتاجِ الأصغرِ، لَكنَّه يَحتاجُ للعناية والمراقبة المستمرةَ لتركيبِ المركب الحفار etchant.

٣-٢-٤ النقش بالتجديد ذو الحلقةِ المُغلقة

Etching With Closed Loop Regeneration:

يَتضمّنُ تجديدُ الحلقةِ المُغلقة إزالةِ النحاسِ الذي يَحتوي ناتج عرضي مِنْ الانسياب للمركب الحفار etchant بينما المركب الحفار etchant المُنَقَّى من النحاس يُرجَعُ إلى بالوعة المركب الحفار etchant شكل رقم (٣-٨). بالرغم من أن الإستثمارِ في الأجهزةِ عال، إلا أنه يقدم كفاءة وإقتصاد فيما يتعلق بكيميائيات النقش، أداء حفر ثابت والتلوثِ البيئي.



شكل رقم (٣-٨) يوضح النقش بالتجديد ذو الحلقةِ المُغلقة

بين مركبات الحفر etchants تتناسب إقتصادياً لطريقة تجديدِ الحلقةِ المُغلقِة، ونَجِدُ أن كلوريدِ النحاس cupric chloride ، وفوق كبريتات الأمونيوم ammonium persulphate ومركبات الحفر القلوية etchants مناسبة جداً. لكل واحد مِنْ مركبات الحفر هذه etchants، نجد أن نظام المفاعل/الفاصل يختلف بشكل كامل من ناحية كَمْ يُناسبُ الكيمياءَ المعيّنةَ. تُروّجُ مواد التكيّف

الكيمياويةُ تشكيلِ الأملاحِ النحاسيةِ في المفاعلِ الذي هو، في بَعْض الحالاتِ، مدعوم من قبل تَبريد مركب الحفر etchant. ومن ثم يتم ترشيح الأملاحَ النحاسيةَ في الفاصل separator وخَزنتْ كناتج عرضي في خزان خاص. هذا الناتج العرضي بمحتواه النحاسي العالي يُمْكِنُ أَنْ يَكُونَ مباع عادة بدون تسبيب أيّ مشاكل إلى الصناعات الكيماويةِ من ناحية إستعمالِها الآخرِ.

يَحتاجُ التعقيدُ العاليُ للنظامِ إلى الصيانةَ الدقيقةَ لإنْجاز النقش الثابت الجودة في حضورِ التراكيبِ الكيميائيةِ المتغيّرةِ جداً.

٣-٣ بارامترات النقش Etching Parameters:

معدل النقش Etching Rate :

معدل النقش مُحدَّدةُ بكميةِ المادّةِ المزالة لكلّ وحدةِ زمن.

عامل الحفر Etch Factor :

عامل الحفر هو النسبةَ بين عمقِ النقش depth of etching (d) والنقش الغير كافي (b) (قطع غير كافي under-cut)

$$\text{Etch factor} = \frac{d}{b}$$

٣-٤ أجهزة وتكنولوجيات Equipment and Techniques:

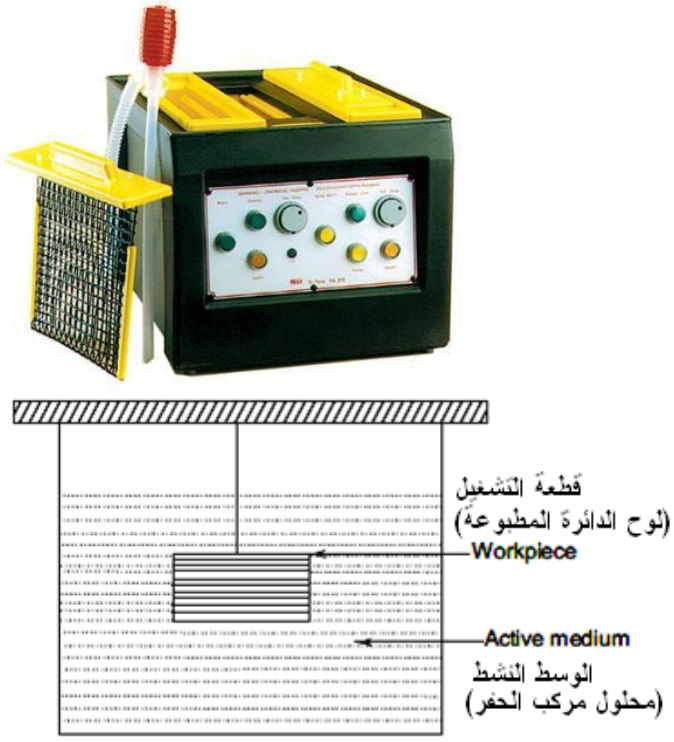
مركبات الحفر etchants قَدْ تطبق إلى الألواحِ بإحدى الطرقِ التاليةِ:

- النقش بالغمرِ Immersion etching؛
- النقش بالفقاعةِ Bubble etching ؛
- النقش بالإثارة (على دفعات) Splash etching ؛ و
- النقش بالرذاذِ (الرش) Spray etching .

النقش بالرذاذِ هى تقنيةُ مستعملةُ عموماً وأكثر شيوعاً بسبب إنتاجيتها العاليةِ وتعريفات الخَط الرفيعِ.

٣-٤-١ النقش بالغمرِ Immersion Etching:

النقش بالغمرِ هو عبارة عن تقنية نصف أو شبه خلية semi-plast الذي يَتطلّبُ فقط خزان يحتوي محلول نقش الذي فيه الألواح تكون غَاطِسة كما هو في الشكل رقمِ (٣-٩). تبقى الألواحَ غَاطسة حتى يكتمل النقش تماماً. هذا يَتطلّبُ وقت طويل للعملية ومعدل الحفر يصبح بالتالي منخفض. يُمْكِنُ للمحلول أَنْ يُسَخّنَ لرفع سرعة عمليةَ النقش. هذه الطريقةِ مناسبة للألواحِ الصغيرةِ أَو النموذجيةِ prototyping . عادة فوق كبريتات الأمونيومammonium persulphate أَو فوق اكسيد الهيدروجين hydrogen peroxide مع حامضِ الكبريتيك الذي يَحْفرُ وسطاً مستعملُ لنقش الغمرِ.

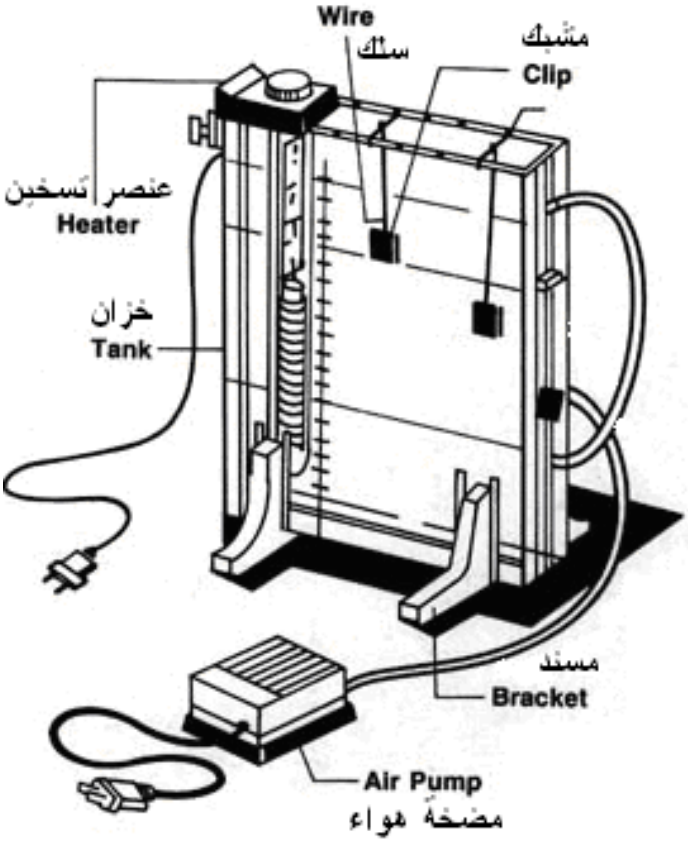


شكل رقم (٣-٩) يوضح نظام النقش بالغمر

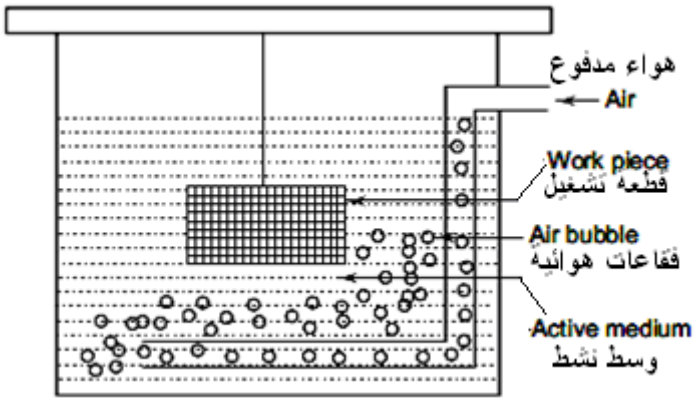
٣-٤-٢ النقش بالفقاعة Bubble Etching:

هذه التقنيةِ هى طريقة معدّلَة من شكلَ النقش بالغمرِ مع الإختلافِ بأن فقات الهواءِ تتكون خلال محلول النقش شكل رقم (٣-١٠). الهواء، يَعْبرُ خلال المحلول، ولَهُ وظيفتان:

- لضمان التماس الحر لمركب الحفر etchant مع السطحِ ولشَطْف المعدن المذْوب بعيداً؛
- لتَحسين قدرة الأكسدةَ ولتَجديد مركب الحفر etchant.



تابع الشكل رقم(٣-١٠) يوضح ترتيبَ تخطيطيَ لنظام النقش بالفقاعةِ.

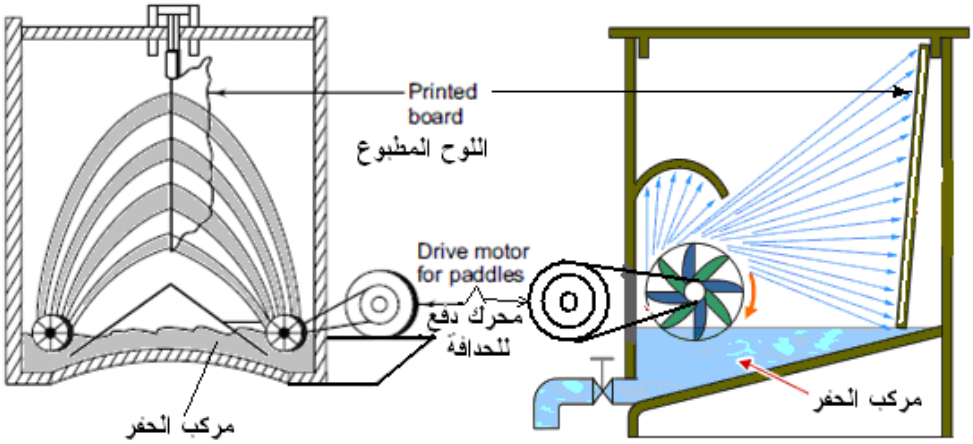


الشكل رقم(٣-١٠) يوضح ترتيبَ تخطيطيَ لنظام النقش بالفقاعةِ.

معدل النقش، لحَدّ معين، يَعتمدُ على ضغطِ الهواء (عادة حتى ٢psi) للحُصُول على جودة جيدةِ مِنْ النقش. مركبات الحفر من حامض الكروميك والكبريتيك Chromic sulphuric acid وفوق كبريتات الأمونيوم ammonium persulphate مستعملة في هذه التقنيةِ. الضرر الأساسي للنقش بالفقاعةِ، عندما يستعمل مركب حفار من حامض كبيريتيك وفوق اكسيد الهيدروجينِ hydrogen peroxidesulphuric acid، هو أنّه يُولّدُ الكمية الهامّة للبخّاخةِ الآكلةِ. تجميع الدخان الفعّال بالحَكّ النشيطِ يجب أنْ يُطبّقَ إذا كان bubbler مستعملُ.

٣-٤-٣ النقش بالإثارة (على دفعات) Splash Etching:

المبدأ للنقش بالحدف يَتضمّنُ مجذاف أَو كأس مرَبوطَ بمحور مدفوع بمحرك. عندما يدُورُ المحرك، فإن مركب الحفر etchant يقذف بواسطة قوة الطرد المركزيةِ نحو الألواحِ المراد حفرها. إتصال المحلول مع الالواح يعتمدُ على دورانِ العمودَ وتصميمَ المجدافِ كما هو موضح في الشكل رقمِ (٣-١١). النقش بالريش أو الحدافة أو النقش بالمجدافِ paddle etching أفضل مِنْ النقش بالفقاعةِ bubble etchin فيما يتعلق بادني قطع غير كافي minimum undercut. لكن، فقط عدد محدود مِنْ الألواحِ يُمْكِنُ أَنْ تُحْفَرَ في مرة . محاليل كلوريد الحديد وحامض الكروميك/الكبريتيك تَستعملُ عموماً في هذا النوعِ مِنْ الحفر الكيميائي. أي خزان كبير الحجم مجهّزُ عند أسفل أو قاع الخزان لتقليل استبدال المحلول. هذا الاسلوب أَصْبَح ملغياً بسبب المستوى المنخفض للحفر بالمقارنة مع ماكينات الحفر بالرذاذَ الآليَ .



(أ) شكل تخطيطي

(ب) نموذج عملي

شكل رقم (٣-١١) يوضح ماكينة نقش بعجلة مجداف (أ) شكل تخطيطي، (ب) نموذج عملي

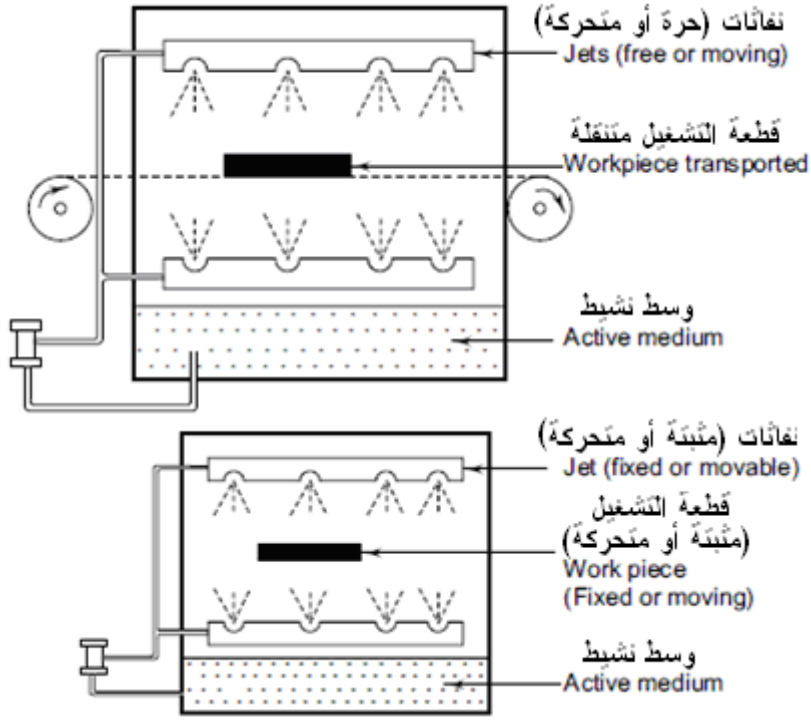
لصناعةِ النموذجِ prototype والكمياتِ المحدودة الدفعةِ batch الصغيرةِ لألواح الدوائر المطبوعة، هناك ماكينات نقش دوّارةِ أثبتْت كفاءتها. في هذه الماكينةِ، محلول النقش مُحتَوى في خزان في قاعدةِ الماكينةِ. حيث يكون ساخنُ مِن قِبل مدفأة كوارتزِ، والتي لها زمن تسخين قصير ودرجة حرارة ثابتة ومسيطرة عليهاُ إلكترونياً. هذه الماكينات لَها القدرةُ لمُعَالَجَة ألواح بأبعاد ٣٠٠ × ٥٠٠ مليمترِ.وهى مزودة بعجلة مجداف paddle type etching machine تعمل على رش مركب الحفر على سطح اللوح كما بالشكل رقم (٣-١١). في ألواح الدوائر المطبوعة، حامل اللوح يدور بزاوية مقدارها ١٨٠ ° قبل دورةِ النقش الثانيةِ. أي بند يُجْعَلُ لخزان الغَسْل لشَطْف الألواحِ المَحْفُورةِ. تُعطي هذه الماكينةِ درجة وضوح أحسن من ٠.١ مليمترِ وسرعةِ نقش فقط ٩٠ ثانيةِ بكلوريدِ الحديد الجديدِ.

٣-٤-٤ النقش بالرذاذِ (الرش) Spray Etching:

في شكله الأسهل، تتكون ماكينة النقش بالرذاذِ من غرفة نوعِ صندوقِ لديها بالوعة تحتها. محلول النقش يُضْخُّ تحت ضغط من بالوعة خلال شبكة إنبوبِ إلى فوهة والرَشَّ على سطحِ اللوحةَ. هذا يَسْمحُ للمحلول الجديدِ لكي يُرْشَّ، معطياً معدل عالي من النقش. العوامل التي تحدد مساواةَ الحْفرُ:

- إتساق نمطِ الرذاذِ، والقوة، وترتيب النمطَ والتصريفَ؛
- كيمياء المركب الحفار Etchant، وضغط المضخّةَ، وهيئة الفوهة والوضع، الذي يحدد معدل النقش؛ و
- الرذاذَ، الذي يتم على كلا الجانبينِ للوح الدائرة المطبوعة في حالة الألواحِ ثنائيةِ الجانب.

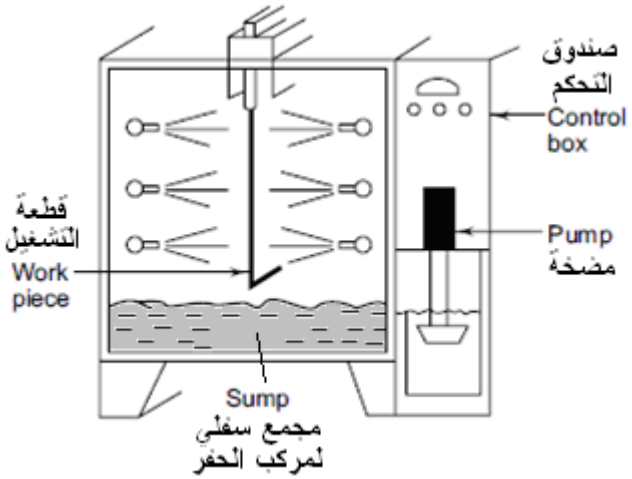
الألواحَ يتم حفرها بشكل مستمر في نظامِ الحلقةِ المُغلقِة هذا. معدل الحفر يكون عال في هذا نظام بالحَدّ الأدنى القطعِ التحتي minimum under cut وتعريفِ الخَطِّ الرفيعِ fine-line definition . مركب الحفر كلوريد الأمونيومِ عموماً مستعمل في هذه التقنيةِ لألواحِ ثنائية الجانب ذات الثقوب المصفحة PTH . الأجهزة المصنّعة يَجِبُ أَنْ تُصْنَعَ من مادة مقاوم الحمضي والقلوي مثل مادة PVC. على أية حال، أجهزة لنظام مركب الحفر حامضِ الكبريتيك / فوق اوكسيد الهيدروجينِ يَتطلّبُ حديد مقاوم للصدأ stainless steel ، أو مادة متعددة الكربونات أَو مادّة polypropylene.



شكل رقم (٣-١٢) يوضح نظام نقش بالرش الأفقي

هناك نوعان من اساليب النقش بالرذاذِ وهما:

- الرش الأفقي Horizontal Spraying : في هذه التقنيةِ، ينفذ النقش مِنْ خزان فوهة رذاذ مسيطر عليها بشكل مستقل في القمةِ والقاعِ. تصميم الحفار بالرذاذِ الأفقيِ يوضح في الشكل رقمِ ٩-٧.
- الرش العمودي Vertical Spraying: الشكل رقم ٣-١٣ يوضح تصميمُ الحفار بالرذاذِ العموديِ. في هذه التقنيةِ، النقش مُنَفَّذُ بوَضْع ألواح التشغيل في رفّ، حيث يُنزّلُ إلى منطقة صندوقِ الرذاذَ. حيث هناك مجموعة الفوهات المتحركة وتذبذبِ فوهات لفوق ولأسفل أَو إلى جانب، مَع عدد كبير مِنْ الفوهات، تعطي نَتائِجَ قصويةَ (امثل).



شكل رقم (٣-١٣) يوضح نظام نقش بالرش الرأسي

ماكينات النقش بالرذاذ متوفرة في النمط آلي والنمط النصف آلي للرش العمودي أَو الأفقي للرذاذِ. تحتوي الأتمتة التحكم في الضغطِ، والتسخين، مبين الوزن النوعي والتجديد الآلي للمحلول. الماكينات الآلية مُصَمَّمة لمعدلات الإنتاجِ العاليةِ. حيث تحمل الألواح على رفّ، الذي يعبر من خلال غرفةً الحفر، حيث تَرُشَّ على احد الجانبين أَو على كلا الجانبين بواسطة فوهة رش متَذَبْذُبة. يستخدم الرفَّ لرَشّ التشطيفِ بالماء والمعادلة في الغرف المخصصة لذلك. الضغط في كُلّ فوهة رذاذِ يُمْكِنُ أَنْ يُسيطرَ على بسهولة.

٣-٥ إختيارِ أجهزةِ الحفر
:Etching Equipment Selection

العواملَ التاليةَ يجب أن تَؤخذُ بعين الإعتبار عموماً عند اختيار أجهزةَ للنقش:

- الحجم الاقصى للوح Maximum Board Size موضوع التشغيل: حيث أن تحديد حجمُ اللوح الأقصى سوف يحدد حجمِ خزان النقش، والشَطْف، والتنظيف والمعادلة، بالإضافة إلى حجمِ الرفِّ أَو السيور الناقلة.

- كميات اللوح Quantities of Board : هذا يحدد نوعَ أجهزة النقش المطلوبة لتلبية حاجات الإنتاجِ. الأجهزة يَجِبُ أَنْ تَكُونَ قادرة على إكْمال هدف الإنتاجِ اليومي الطبيعي بينما يَسْمحُ لزمن ضبط المحلول، وصيانة الماكينةِ وساعاتِ التشغيل الفعليةِ.
- الفراغ المتوفر للنقش Space Available for Etching : هذه تَحتَاجُ للسَماح لكميات كبيرةِ من التحرك walkaround في الفراغ بالغرفةِ الإضافيةِ للتحميل والإفْراغ السهلِ. رفوف الخزنِ وصناديقِ ومناضدِ ورفوفِ يَجِبُ أَنْ تزوّدَ في كُلّ المنطقة حيث تكدس الألواح، التي سوف يعاد لها التصفيح، والطباعة بالشاشة، والطلاء بالمقاوم الضوئي والنقش.
- أنواع النقش Types of Etching : وهى تتضمّنُ دقة الخط fine line، عرض الخَطّ wide line أَو الطباعة–الحفر فقط.
- أنواع الألواحِ Types of Boards : وهى مقاوم المعدن المصفح ، الطباعة–الحفر،... الخ.

٣-٦ تحسين إقتصادِ المركب الحفار : Optimizing Etchant Economy

في حفر ألواح الدوائر المطبوعة على المِقياسِ الصناعي، تعتبر النقاط التالية هي الميزّاتُ المرغوبةُ المُخْتَلِفةُ التي، في الممارسة، يُمْكِنُ فقط أَنْ تنجَزَ جزئياً:

- سرعة النقش العاليةِ؛
- قدرة عالية لإذابة النحاس؛
- عدم المقدرة على الهجومَ على مقاومات مستعملة؛
- سرعة النقش الثابتةِ؛
- التخلص السهل لمركب الحفر المستهلك أَو أى نواتج عرضية؛
- قليلاً من التسمم والأدخنة؛
- سهولة التجديد للمحلول؛
- تكاليف منخفضة للمواد الكيمياويةِ؛ و

- متطلبات تنظيف وحفر ، الخ.

الاستجابة إلى هذا التحدي من ناحية إختيارِ الأجهزةِ، وتوفر ماكينات الحفر بالرش باستخدام سيور النقل conveyorized يُعتَبرُ الآن كنظرة قياسية.

٣-٧ مشكلات في عملية النقش :Problems in Etching

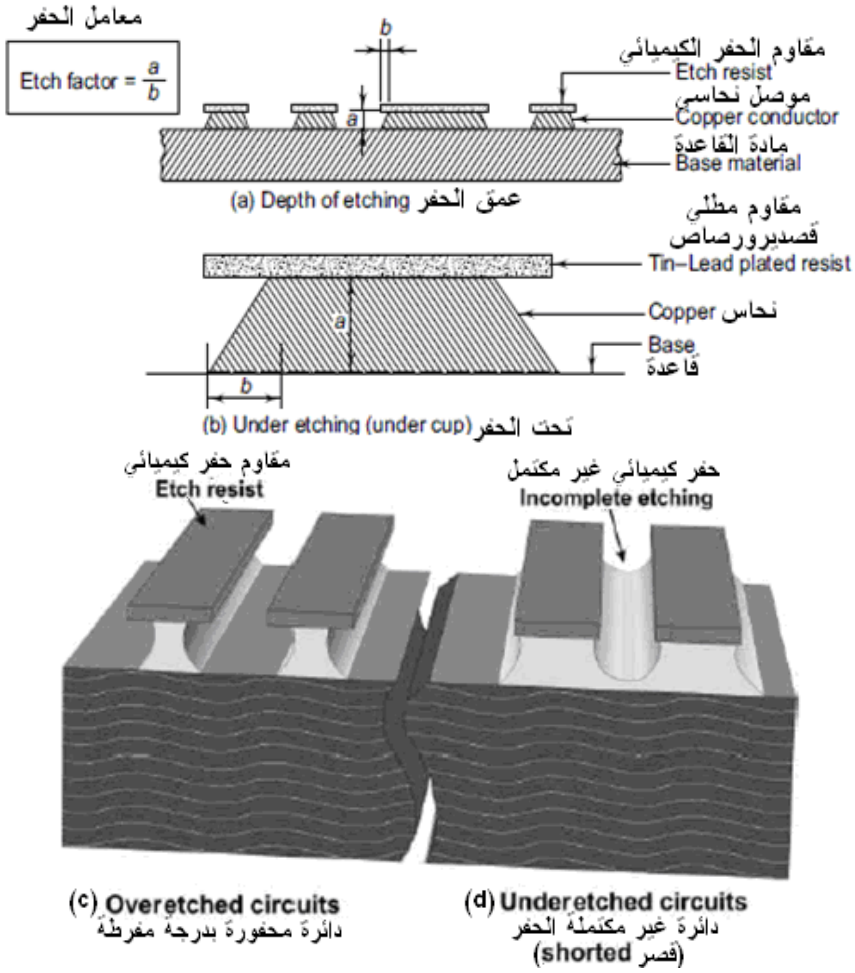
تعتبر عمليةَ النقش إحدى أهم الخطواتِ في صناعة ألواح الدوائر المطبوعة. وقد تبْدو بسيطة، لكن، في الممارسة، هناك عِدّة مشاكل تصَادَفنا أثناء هذه المرحلةِ، حيث تُؤثّرُ على جودة الألواح النهائية، خصوصاً في إنتاجِ الخط الرفيع fine line والدقّةِ العاليةِ لألواح الدوائر المطبوعة. الإثنان عموماً يصادفان مشاكل النقش الغير كافي under-etching وبروز التعليق (الخطاف) overhang.

٣-٧-١ النقش الغير كافي أو القطع الغير كافي :Under-etching or Under-cut

أثناء عمليةِ النقش، من المتوقّعُ أنَّ النقش يَتقدّمُ بشكل عمودي. على أية حال، فإن فعل التآكل للمركب الحفار etchant يَعْملُ بِكُلّ الإتجاهات، وفي الممارسةِ، هناك عادة فعل للنقش على الجانب والذي يُهاجمُ النمطَ النحاسي تحت مقاوم النقش etch resist. التآكل الجانبي يُروّجُ له بحركةِ السائلِ وذوبان النحاسِ يَحْدث بشكل تدريجي. يُصبحُ الحائطُ النهائيُ للموصل خَطّاً مائلاً بدلاً مِنْ أن يكون عمودي. هذا يتضح في الشكل رقمِ (٣-١٥). هذا يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى تخفيض كبير لعرض خَطِّ الموصل.

النظرة الأسهل لتَقليل النقش الغير كافيٍ هو إبْقاء وقتِ النقش قصير بقدر الإمكان. هذا مُنجَزُ بإستعمال مركب حفر سريع الفعل etchant ويُمارسُ عليه سيطرةَ مضبوطةَ على زمن النقش.

يَستعملُ تعبيرُ مشترك لِلتعبير عن النقش الغير كافيٍ under-etching بعامل الحفر etch factor ، ويعرف كنسبة عمق النقش etching depth (سُمك ورقِ النحاس الرقيق copper foil thickness) إلى عرضِ الهجومِ الجانبيِ copper foil thickness ، وبمعنى آخر:



شكل رقم (٣–١٥) يوضح : (a) عمق الحفر، (b) الحفر أو القطع الغير كافي وبالتالي تعريف معامل الحفر، (c) الدوائر ذات الحفر الزائد، (d) الدوائر ذات القطع الغير كافي تؤدي إلى وجود قصر كهربائي

$$\text{Etch factor} = a/b$$

حيث :

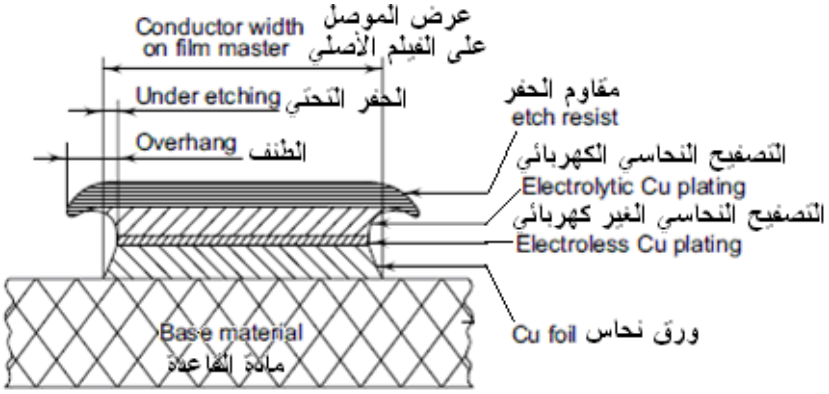
a سُمك ورقِ النحاس الرقيق copper foil thickness

b عرضِ الهجومِ الجانبيِ copper foil thickness

حفر الخَطّ الرفيع مَع حَدّ أدنى مِنْ القطع الغير كافي هو أفضل انجاز مَع ورق نحاس رقيق وزنه ½ oz أَو أقل ومُنَفَّذُ بإزالة اللوح مِنْ ماكينةِ النقش بالضبط في وقت الإكمالِ time of completion .

٣-٧-٢ الطنف (بروز التعليق - الخطاف) Overhang

عندما تكون مقاومات حفر المعدن مستعملة، وبمعنى آخر: في عمليةِ تصفيح النمطَ pattern plating process، ربما يوضح البناء لأعلى لتصفيح المعدن نمواً في الجوانب على شكل اسقاط كطنف (الشكل رقم ٣-١٦). حيث يُمثّلُ هذا المصدر المحتمل للضطراب لأن الطنف المفرطَ قَدْ يَنكسرُ، أَو أن يسقط هذا الطنف المعدني ويكون بالقرب منه مساراً نمطي فيسبب قفلة كهربائية بينه وبين المسارات المتجاورة. لذا، من المُستحسنُ بعد النقش، أن يتم إزالةَ الطنفِ overhang بواسطة فرشاة نحاسية ناعمة، أو هياج فوق صّوتي والشْطفُ، أَو الانصهار في حالة مقاومات المصفحة بمادة اللحام. في العديد مِنْ الحالاتِ، فقط التَنظيف كافيُ بالفرشاة. الصعوبات بالطنفِ تخفّضُ أيضاً إلى حدٍّ كبير بإستعمالِ مقاومات الفيلمِ الجافِ . مقاومات الفيلمُ الجافُ متوفرة بأسماك بقدر إستطاعة ٧٠ ميكرون و لذا، فهو يعمل كمانعِ فعّالِ ضدّ جوانب النمو لطبقاتِ التصفيح. الشكل يوضح أيضاً القطع الغير كافي under cut والطنفِ overhang لنمط مقاوم المعدن المصفح. في الحالاتِ الحرجةِ، تأثيرات الطنفِ والنقش الغير كافيِ يتم التعويض عنها بواسطة تَعديل أعراضِ الموصل على الفيلمَ الرئيسي.



شكل رقم (٣-١٦) يوضح بروز الخطاف والقطع التحتي لنمط الدائرة المصفح

٣-٨ تسهيلات لمنطقةِ النقش

Facilities for Etching Area:

التسهيلات التاليةَ مطلوبة في منطقةِ النقش:

- الطاقة الكهربائية الكافية وأنظمة العادمِ ومناطقِ الخزنِ وبندِ الأمانِ كلها مطلوبة في وسيلةِ أو تسهيل النقش.
- بناء الأرضيةَ يَجِبُ أَنْ يكُونَ تبليط مقاوم للكيمياء أو مقاومَ للحامضَ مغطى بالابوكسي.
- الخزانات والأنابيب يجب أنْ تحفظ بعيداً عن الأرضيةَ للسَماح للتفتيشِ ولإبْقائها جافة كلما أمكن ذلك.
- الخزانات يَجِبُ أَنْ تُدْعَمَ أعلى بكثير من الأرضيةِ الأساسيةِ ولَها موانئُ التفتيشِ الصحيحةِ.
- المحلول المستهلك لا يَجِبُ أنْ يُوْضَعَ في نظامِ تصريف مياه المجاري. ويَجِبُ أَنْ يُعالجَ طبقاً لممارساتِ السيطرةِ على التلوثِ التنظيمي. يشطف وينبغي معالجة النفايات وتفريغها كنفايات سائلة مقبولة.

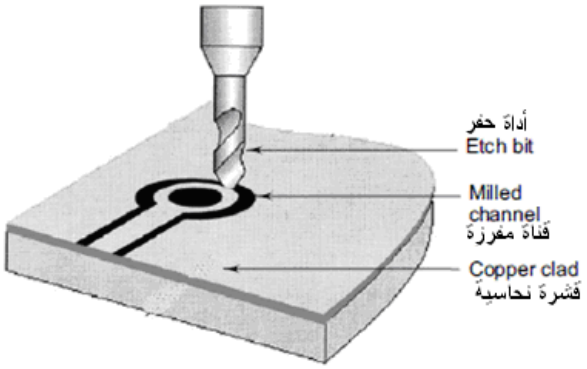
٣-٩ النقش الكهروكيمياوي Electrochemical Etching:

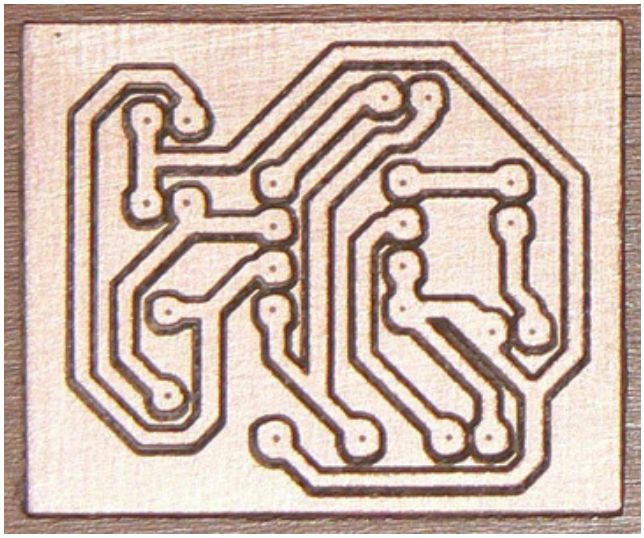
في النقش الكهروكيمياويِ، المادّة الّتي سَتُحْفَرُ تعتبر القطب الموجبَ والقطب السالبَ عموماً مصنوع من معدن مماثل. المنحل بالكهرباء (المحلول الالكتروليتي) المستخدم يعتمد على المعدن الّذي سَيُحْفَرُ. معدل النقش يحكم بواسطة التغيير في التيارِ.

٣-١٠ الحفر الميكانيكي Mechanical Etching

في عمليةِ النقش الميكانيكيةِ، المعدن السطحي يُزالُ بشكل إنتقائي بواسطة ماكينة تفريز (تشكيل) متعددة المحاور وقواطع تفريز خاصة لإزالة شريطَ ضيق من النحاسِ مِنْ حَد كُلّ الوسادة والمسار كما بالشكل (٣-١٧). عدد مِنْ الترتيباتِ متوفرة حالياً لبنط الحفر الميكانيكي الخاصّة، لكن أكثر المستعملين يَقرون بأن البنط بالتحزيز الحلزوني (مقابل هندسة التجريف المستوي) هى الأكثر فعّالية في إزالة الحطامِ النحاسي وتمِيلُ إلى بَقاء أطولِ حدِّة عند معدلات قطع أعلى. زوايا الرأسِ ٦٠ ° و٩٠ ° هى الأكثر شيوعاً، مَع ٩٠ ° تبدوا لتقديم أفضل مجموعةِ لأدنى إختراق للبنية التحتية وحياةِ قاطعِ أطولِ. إذا كان تصميمَ الدائرةَ أيضاً يَتطلّبُ بأنّ بعضِ (أَو كُلّ) النحاس الذي لا يمثل نمط

دائرة يكُونُ مُزَال (تفريز كامل)،فإن طرف القاطع الكربيدي التقليدي يمكن أن يستَعملَ لتعجيل عملية تفريز النحاس. تَتراوحُ أقطارُ القواطع (البنط) المثاليةُ مِنْ ٠.٠١٠ "(٢.٥ مليمتر) إلى ٠.٠٥٠ "(١.٢٧ مليمتر). الشكل رقم ٣-١٧ يوضح الترتيبَ المثاليَ للنقش الميكانيكي. خطوات نقش الكربيدِ لشريط النحاسِ حول حَدِّ كُلّ عنصر دائرةِ. يعتمد العزل الكهربائي على الإزالةِ الكليّةِ لكُلّ الحطام النحاسي مِنْ عملية التفريز.





شكل رقم (٣-١٧) يوضح إزالة شريطَ ضيق من النحاسِ مِنْ محيط الوسادة والمسار

هذه العمليةَ مناسبةُ فقط للتصميمِ وتطويرِ النموذجِ الأولي. الماكينات الخاصة المستعملة في النقش الميكانيكي تسمى ' ماكينات النموذج الاولي السريع Rapid prototyping machines '. في هذه الماكينات، يتم تغذية معلوماتَ التصميمَ في الصيغةِ Gerber Format التي من ثمّ تحمل على

خاصية البرامج النموذجية proprietary prototyping software . عندما تكتمل العملية النموذجية، البرامج software يمكن أن تُستَعملَ لتَحويل مرة أخرى إلى المعلوماتَ في ملف Gerber. يمكن أن يستعمل ملفُ Gerber لإنتاج النموذجِ الاولي في احجام إنتاجِية من الألواح. ومن ماكينات النموذج السريع المشهورة القياسية ما يظهر في الشكل رقم (٣-١٨) وهى قادرة على إنْتاج خطوط ومسافات بينية (مباعدة) مقدارها ٤ mil؛ حتى الخطوط والفراغات الأدق يُمْكِنُ أَنْ تنتَجها أجهزةَ ليزرِ من قبل ذات الشركةِ.

شكل رقم (٣-١٨) يوضح ماكينة النموذج الاولي السريع

الباب الرابع

عمليات

التصفيح (الطلاء المعدني)

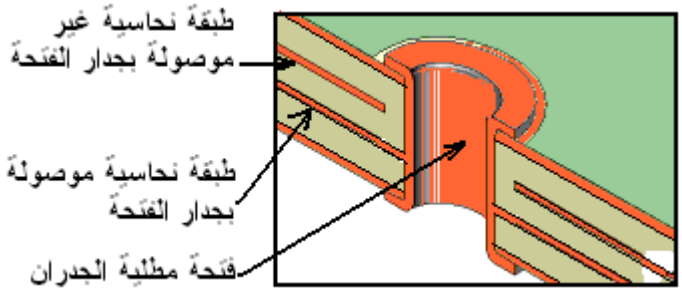
Plating processes

الباب الرابع

عمليات التصفيح (الطلاء المعدني)
Plating processes

٤-١ ماهو الهدف من التصفيح :

يستعمل النحاس في الواح الدوائر المطبوعةِ للرَبْط بين العناصر الالكترونية على لوح البنية التحتية substrate (اللوح المدعوم). بالرغم من أنه مادّة توصيل جيدةِ تجسد نمطِ مسارات الموصلات على ألواح الدوائر المطبوعة، إلا أنه عرضة للتلوث بالشوائب بسبب الأكسدةِ، وذلك إذا تعرض للجوِّ فترة زمنية طويلة (مرحلة التخزين). حيث يَمْرُّ بالتآكلِ وهكذا يَفْقدُ قابليتة للحام solderability. لذا، هناك تكنولوجيات مُخْتَلِفة مستعملة لحمايةِ المسارات النحاسية tracks، وفتحاتِ العبور via والفتحات الخلالية المطلية plated through-holes (PTH) . وهى عبارة عن تغطية ورنيشية عضوية organic lacquer coating، أوتغطية اوكسيدية oxide coating ، أوتصفيح أو طلاء معدني plating. كما أن موضوع الطلاء المعدني يستخدم فى الاساس لتحقيق الطلاء الموصل على حوائط الفتحات التي نرغب من خلالها توصيل المسارات لطبقة مع مسارات طبقة أو طبقات أخرى. الشكل رقم (٤-١) يوضح فتحة مطلية الجدران.



الشكل رقم (٤-١) يوضح فتحة مطلية الجدران

ويعتبر الطلاءِ الورنيشي العضويِ، سهل التطبيقِ، ولَيسَ مناسبَ للإستعمالِ لمدى بعيدِ نتيجة للتغيرات في السُمكِ، والتركيب ودورات المعالجة. وهو يُمْكِنُ أَنْ يَجْلبَ إنحرافَ متقلّبَ أيضاً في قابلية اللحام solderability. طلاء الأكسيدِ يمكن أن يُستَعملَ لحِماية الدائرةِ مِنْ التآكلِ، لَكنَّه يُخفقُ في إبْقاء قابلية اللحام solderability. التصفيح أَو عملية الطلاء المعدني هى ممارسة قياسية لضمان قابلية اللحام solderability وحماية للدائرةَ مِنْ التآكلِ. لذا يَلْعبُ دوراً مهماً في تصنيع لوح الدائرة المطبوعة بأنواعه الثلاث ذات الطلاء المعدني خلال الفتحات. بشكل خاص، تصفيح المعدن القابل للحام solderable على المساراتِ أصبح الآن ممارسة قياسية لتَحَمُّل حمايةِ قابلية اللحام solderable إلى المساراتِ النحاسيةِ.

تستخدم مقابس الحافةِ Edge connectors بتماسات مرنة متزاوجة مع أطراف مقبس مصمم بشكل مناسب على ألواح الدوائر المطبوعة، تستخدم لتحقيق ترابطِ الوحداتِ المُخْتَلِفةِ various modules في الأجهزةِ الإلكترونيةِ. مثل هذه التماسات يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها درجة عالية لمقاومة التآكل نتيجة للاحتكاك wear resistance ومقاومةِ التماس المنخفضةِ low contact resistance . هذا المتطلبِ أدّى إلى التصفيح بالمعادن الثمينة على مثل هذه الاطراف المتماسة والمعدنِ المستعملِ عموماً والأكثر شيوعاً هو الذهب. المعادن الأخرى المستعملة للطلاء هى القصدير وسبيكة القصدير–الرصاص وهى العملية المعروفة بالتبييض أو قصدرة المساراتِ، وكذا التصفيح بالنيكل nickel plating وفي بَعْض الحالاتِ، التصفيح بالنحاس copper plating لتَعزيز البعض مِنْ مناطقَ المسارَ.

النوع الآخر لطلاء coating المساراتِ النحاسيةِ هو مِنْ النوعِ العضويِ، حيث يكون عادة قناع اللحام solder mask، حيث تطبع الشاشةَ طلاء أو غطاء من الإبوكسي epoxy لتَغْطية تلك المناطق الغير مطلوبة للحام. عملية تَطبيق أى غطاء حامي سطحي عضويَ organic surface protectant (OSP) coating لا يَتطلّبُ تبادل للألكترونات حيث أن لوح الدائرة يكون مَكْسُو خلال تغطيسه في حمّام كيميائي. أي مركب عضوي محمل على نتروجين nitrogen-bearing organic compound يَسْمحُ للمُركّبُ للإلتصاقِ إلى الأسطح المعدنيةِ المعرضة ولا يُمتَصُّ مِن قِبل اللوح المدعوم.

لقد أدت كل من المتطلبات الفنية الدقيقة للمُنتَجاتِ الإلكترونيةِ وطلباتِ البيئةِ الصارمةِ والتزامِ الأمانِ إلى ممارسة عمليات تصفيح متقدّمة جداً. حيث بدت واضحة في تكنولوجيا انتاجَ ألواح الدوائر المطبوعة ذات درجة التحليل (الوضوح) العالية والمعقدة. في التصفيح أو الطلاء plating، مثل أى مستوى دقّةِ أنجزَ بتطويرِ ماكينات التصفيح الآلية المحكومة بالحاسب، وتكنولوجيات ذات دور فعّال ومتطوّرة جداً للتحليلِ الكيميائيِ للإضافاتِ المعدنيةِ والعضويةِ، وإمكانية التحكم بشكل دقيق على العمليةِ الكيميائيةِ.

هناك طريقان قياسيان للحُصُول على التصعيدِ (النمو–الترسيب–التصفيح) المعدنيِ على مسارات الدائرةَ والفتحاتَ: تصفيح النمط pattern plating وتصفيح لوح التشغيل panel plating. وهذا ما سوف نناقشه فيما يلي.

٤-٢ تصفيح نمطِ الدائرة وتصفيح لوح التشغيل Pattern Plating and Panel Plating:

تصفيح لوح التشغيل Panel Plating لا تَتضمّنُ أيّ تنميط patterning أَو تصوير imaging قَبْلَ التصفيح ومن ثم لديه هندسة سطح موحدة؛ وبممارسةِ التصفيح الجيد، فإن أقل مِنْ ١٠ بالمائة تغير في السُمكِ عبر لوح التشغيل ومِنْ لوح تشغيل إلى لوح تشغيل آخر قابل للإنجازُ. إنّ التحدي هنا هو الحصول على قدرة رمي جيدة لِكي لا يحدث تصفح زائد overplate للسطح لإنْجاز ١.٠ mil في الفتحة. اى سطح ذو تصفح زائد يحدد عرض الخط والفراغات التي يُمكنُ أَنْ يَشكلا دائرة circuitized بالنقش اللاحقِ. تصفيح أو طلاء معدني أو طلاء بالكهرباء Plating.

تصفيح النمطِ Pattern Plating، كما يَدْلُّ الاسمُ عليه، يَحْدثُ بعد نقلِ الصورةَ أَو النمطَ، ووفقاً لذلك، يكون التحدي الحقيقيُ لعمليةِ التصفيح. هنا، نجد أن هندسة السطح لَيستْ موحّدةَ ولَرُبَّما لَها نهاياتُ من المسارات والوسائد المَعْزُولةِ، بالإضافة إلى مناطقِ (مساحات) مستوي الأرض ground plane. هذا يُسبّبُ عدم التكافؤ الكبير في توزيعِ التيار الأساسي، الذي يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى سمك من إثنان إلى أربع مراتِ أثخنِ من النحاس في المناطقِ المَعْزُولةِ، بالمقَارنَة بمناطقِ مستوي الأرض.

٤-٢-١ تصفيح النمطِ Pattern Plating:

هذه العمليةُ تتم أينما كان فقط نمطُ وفتحاتُ الدائرةِ المطلوبةِ يَستقبلان تصعيداً نحاسياً وشريحة معدنية مقاومة للحفر كما بالشكل رقم (٤-٢). أثناء تصفيح النمطِ، تزداد خطوط و وسائد الدائرة في العرضِ على كُلّ جانب بحوالي سُمكِ السطح أثناء التصفيح. لهذا الغرضِ، فإن السماحية أو التفاوت نحتاجها أساساً على العمل الفني الرئيسيِ master artwork.

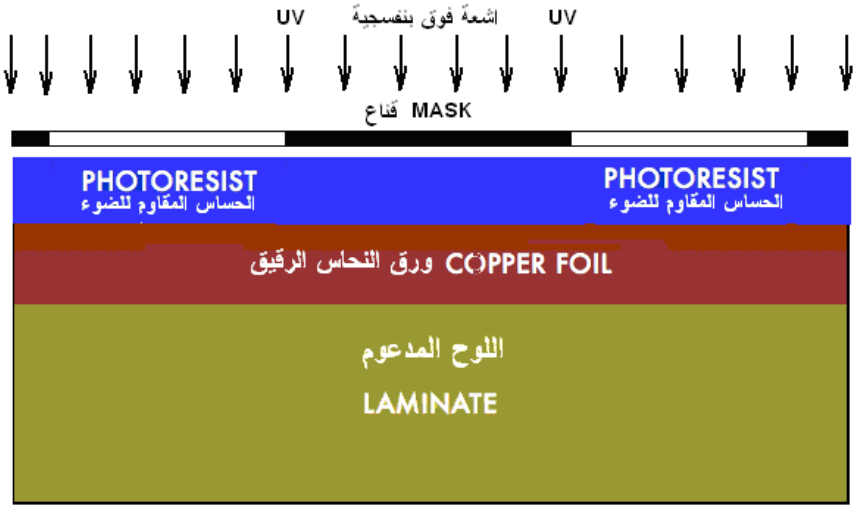
يتضمّنُ تصفيح النمطِ الإخْفاء أساساً لغالبية مساحة السطحِ النحاسي ويصفح (يطلى) فقط المسارات والوسائد لنمط الدائرة. ونتيجة لتخفيض المساحة السطحيّة، فإننا نحتاج إلى منبع تيار ذو سعة تيار أصغر. علاوة على ذلك، عند استعمال أقنعة تصفيح لفيلم جاف من البولمر الضوئي ذو التباين العكسي (النوع الأكثر شيوعاً)، فإنه يمكن الحصول على صورة إيجابية على أى طابعة ليزر laser printer رخيصة نسبياً أَو راسم قلمِي pen plotter. تصفيح النمطِ يستهلكُ أقل نحاس مِنْ القطب الموجبَ anode bank خلال عملية التصفيح ويَتطلّبُ إزالة أقل نحاس أثناء الحفر، بذلك يُخفّضُ تنظيف وصيانةَ حمّامِ المحلول.عيب هذه التكنولوجيا هو أنّ نمطِ الدائرةَ مطلوب لكي يكون مطْلَياً بالقصدير / رصاص أَو مادة مقاومُ إلكتروفيروتك electrophoretic قبل النقش وبعد ذلك تعرى قبل تطبيقِ قناع اللحام soldermask. هذا يَزِيدُ التعقيدَ ويُضيفُ مجموعةَ أخرى مِنْ الحمّاماتِ الكيميائيةِ الرطبةِ إلى العمليةِ.

تشغيل الصناعة النموذجية للوح الدائرة المطبوعة PCB (Printed Circuit Board) اليوم يَبْني على إستعمال عملية تصفيح النمط (electro)plating pattern. في هذه العمليةِ، الطبقة الخارجية outerlayer للوح التشغيل تصل عند عمليةِ النقش ب" بأى مقاومَ حفر " مثل القصدير أَو سبيكة القصدير/الرصاص حامية بَعْض مناطقِ ورقِ النحاسيِ الرقيق، وهذا يُعرّفُ بنمطَ الدائرةَ الذي سَيَبْقى بعد النقش. خطوات تنفيذ تصفيح النمط يوضح فيما يلي :

١-لوح الدائرة المطبوعة الخام (قبل النقش):

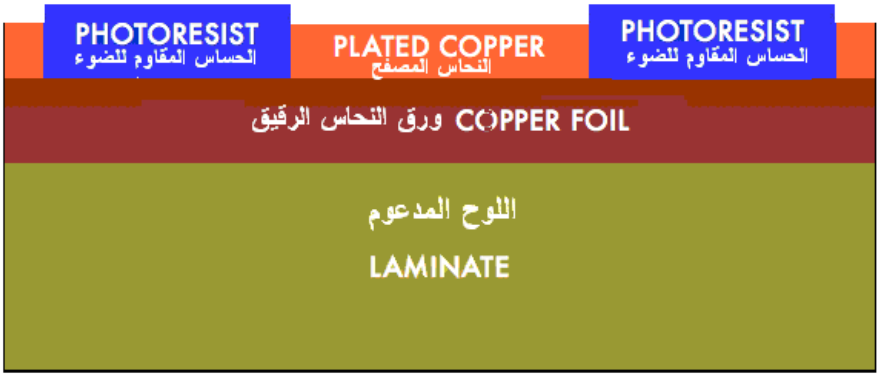
٢-تثبيت الفيلم الحساس الجاف المقاوم للضوء بعد تنظيف السطح النحاسي للوح الدائرة الخام:

٣-تعريض الحساس للأشعة الفوق بنفسجية :

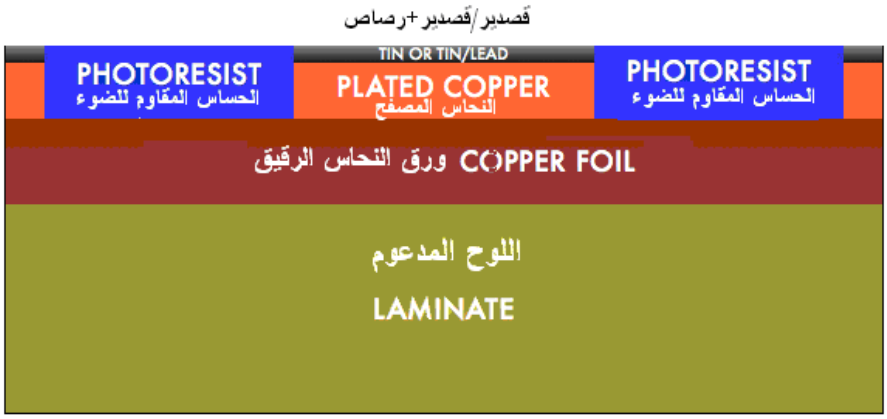


٤-ازالة الحساس الغير متعرض للضوء ليبقى الفراغ المعبر عن نمط الدائرة ومعالجة الحساس المتبقي لزيادة صلادته وثباته على السطح النحاسي ليعبر عن شبلونة الطباعة.

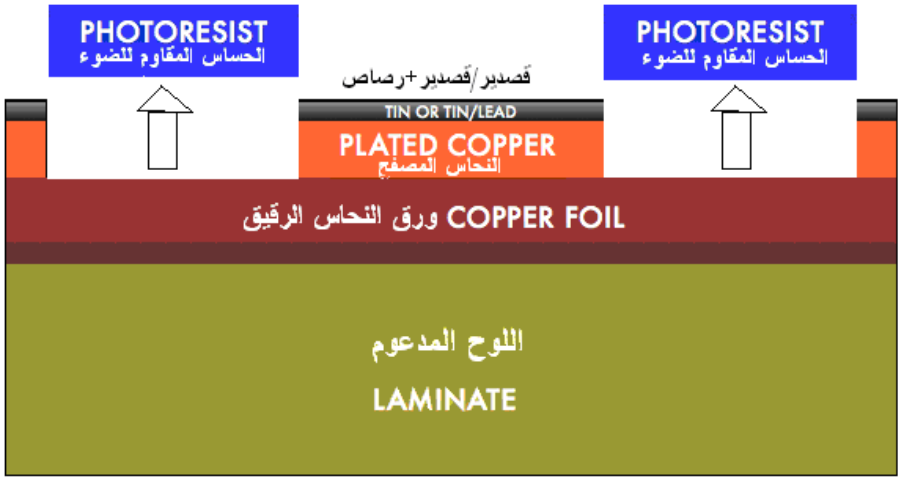
٥-ترسيب أو تصفيح النحاس خلال شبلونة الطباعة (الفراغات بين مناطق الحساس المتبقية) بسمك معين. لاحظ أن عملية الترسيب هذه يكون الغرض منها طلاء حوائط الفتحات ونقاط العبور للوح الدائرة المطبوعة.



٦-ترسيب أو تصفيح طبقة من القصدير أو سبيكة القصدير/الرصاص أعلى سطح النحاس المرسب في الخطوة السابقة لغرض الحماية أثناء عملية النقش



٧-تزال طبقة الحساس المقاوم للضوء تمهيداً لعملية النقش الكيميائي.



٨–تطبق عملية الحفر أو النقش الكيميائي لإزالة طبقتى النحاس المرسب و ورق النحاس الرقيق الخاص باللوح المدعوم.

شكل رقم (٤–٢) يوضح خطوات عملية تصفيح نمط الدائرة فقط على لوح التشغيل ثم يزال القصدير

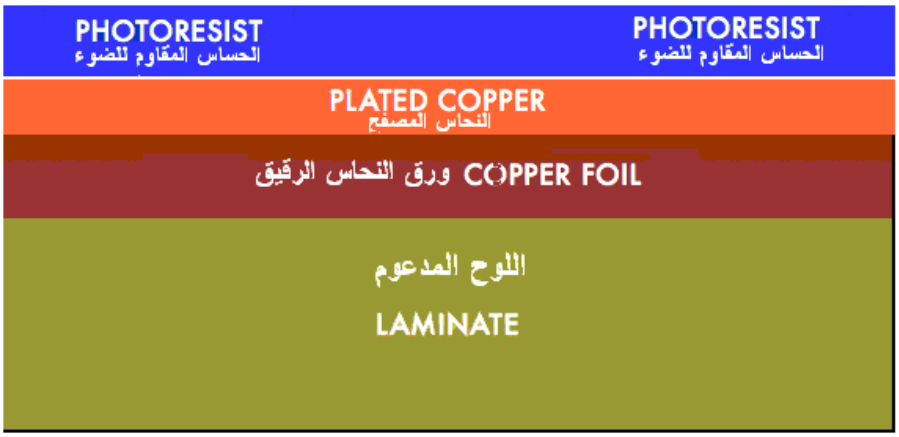
٤-٢-٢ تصفيح لوح التشغيل Panel Plating:

هى العمليةُ التي فيها كل المساحة السطحيّةِ بكاملها والفتحاتِ المَثقبة مطلية بالنحاس، ثم تغطى بمقاومُ على الأسطح النحاسيةِ الغير مرغوبةِ ومن ثم يتم تصفيحها بمعدن مقاوم للحفر. بينما هذا يَتطلّبُ مصدر تيار كبير جداً بالنسبة لمقاس لوح الدائرة المطبوعة، وتكون النتيجة النهائية سطح نحاسي ناعم، لامع حيث يكون سهلُ التَنظيف والإعداد للمعالجة التاليةِ. إذا لم يكن لديك راسم ضوئي photoplotter، فإنك تحتاج لإسْتِخدام عمل فني سلبي negative artwork لتَعْرِيض نمطِ الدائرةَ إلى الفيلم الجاف المقاوم للضوء ذو التباين العكسي للصورة والأكثر شيوعاً. عندما تقوم بحفر لوح التشغيل المصفح، يجب أن تَنتهي من إزالة أغلب المادّةِ التي طُليت بها (قمت بتثبيتها)، لذا تتفاقم أعباء التآكلِ الإضافي لبنوكِ القطب الموجبَ anode banks بأى زيادة للحمل النحاسي في مركب الحفر etchant. الشكل رقم (٤–٣) يوضح رسم تعاقبي لتصفيح لوح تشغيل دائرة مطبوعة وهى تعرف بأسم العمليةِ المطروحةِ subtractive process .

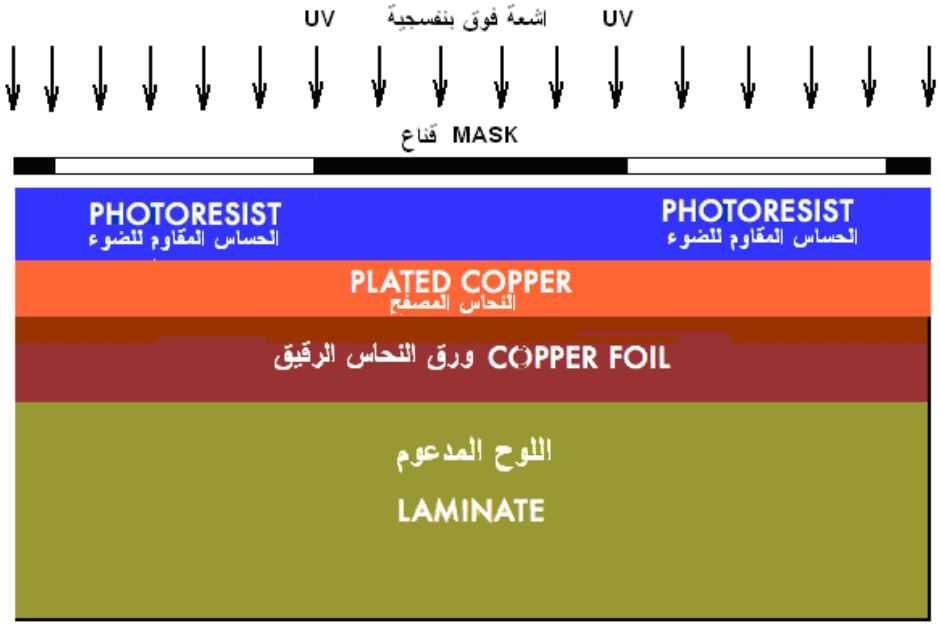
١–لوح الدائرة المطبوعة الخام (قبل النقش):

٢–ترسيب أو تثبيت طبقة نحاسية بسمك معين بطول لوح التشغيل:

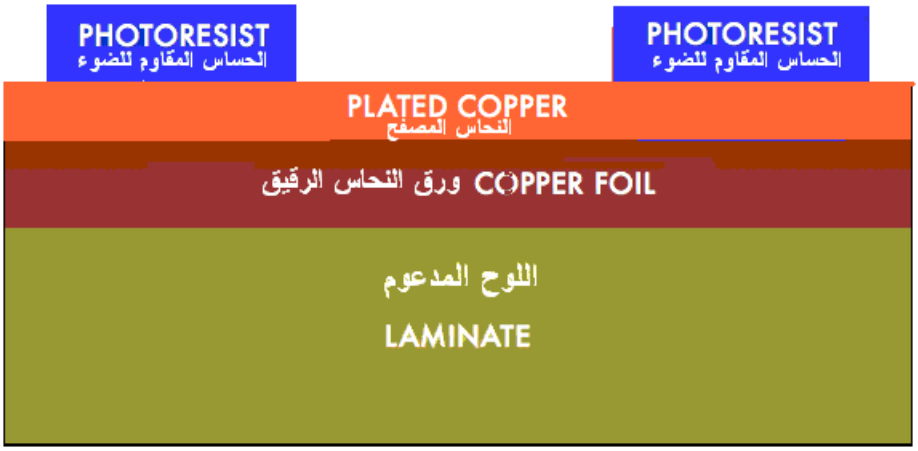
٣–تثبيت الفيلم الحساس الجاف على السطح النحاسي المرسب في الخطوة السابقة:



٤– تعريض الفيلم الحساس للأشعة الفوق بنفسجية من خلال قناع نمط الدائرة المطلوبة:

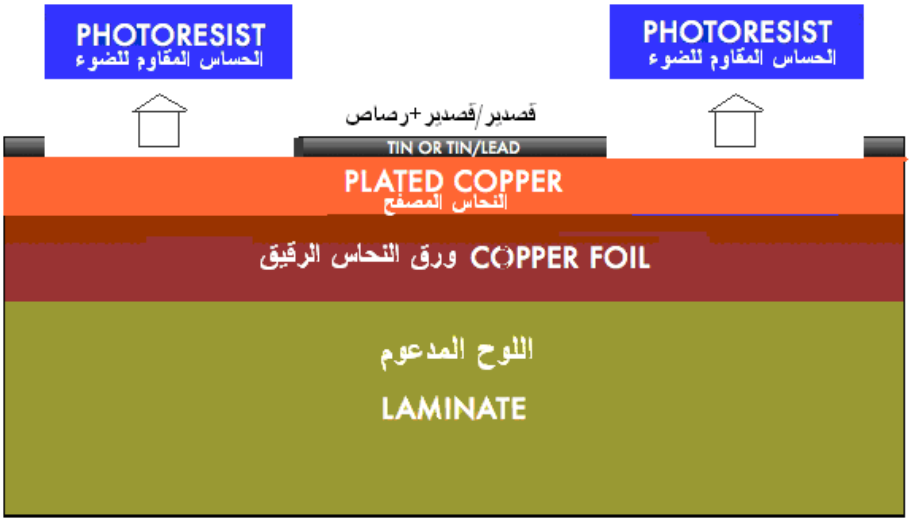


٥-تزال الطبقة الحساسة الغير متعرضة للأشعة الفوق بنفسجية حتى نحصل على الشكل المفرغ لشبلونة نمط الدائرة. يعالج الحساس المتبلمر بفعل الضوء لتثبيته جيدا وجعله صلد.



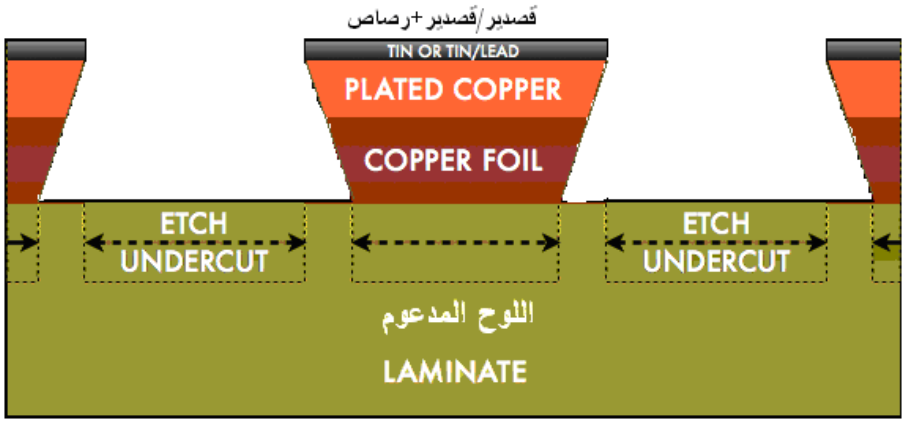
٦-ترسب طبقة من مادة معدنية مقاومة للحفر (القصدير أو سبيكة القصدير/الرصاص) في المساحات المتخللة الفيلم الحساس.

٧-يزال طبقة الفيلم الحساس الباقية للتمكن من عملية الحفر الكيميائي لنمط الدائرة المطلوبة:

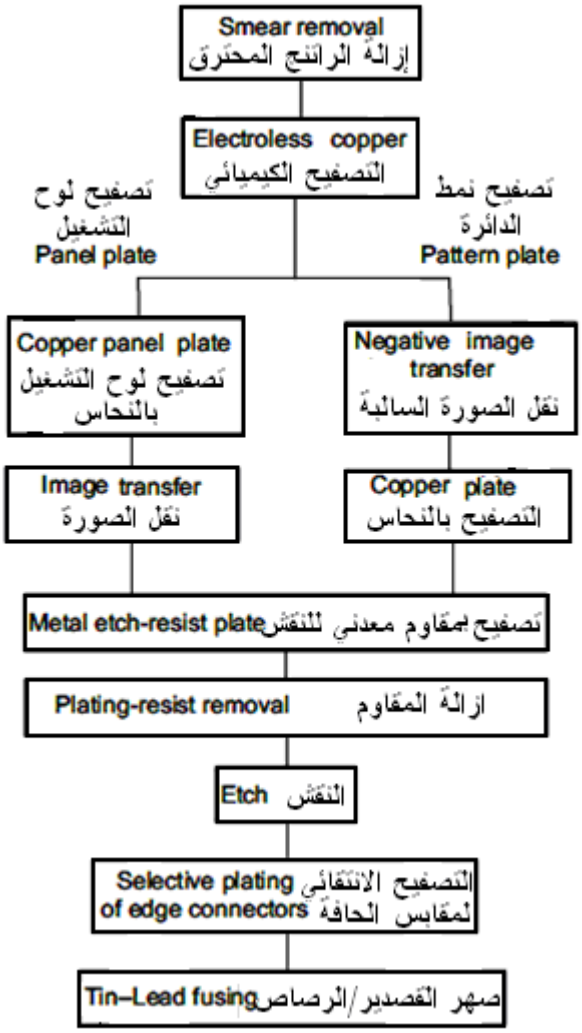


٨-يتم الاعداد لعملية الحفر الكيميائي للوح الدائرة المطبوعة ضمن لوح تشغيل مصفح :

٩-يتم حفر لوح التشغيل المحتوي على الدائرة المطبوعة المطلوبة كما يلي:



شكل رقم (٤-٣) يوضح خطوات تنفيذ تصفيح لوح دائرة مطبوعة ضمن لوح تشغيل



شكل رقم (٤-٤) يوضح خريطة الطلاء المعدني للوح الدائرة المطبوعة

تصفيح النمطِ هو الطريقة المفضّلةُ لتصنيع ألواح الدوائر المطبوعة، بالسُمكِ القياسيِ كما يَلي:

- Copper : 1 mil
- Tin-lead : 0.5 mil
  (traces, pads, holes)
- Nickel : 0.2 mil
- Gold : 50 µm
  (connector tips)

إنّ بارامتراتَ عمليةِ التصفيح الكهربي electroplating process يجب أن تدرس جيداً لكي تزود ترسيبات المعدن بالتوصيلية conductivity الكهربائية العالية، وقابلية اللحام الجيدة solderability، وقابلية القوّة strength والتطرّق ductility الميكانيكية العالية لتصمد اطراف العنصر مع لوح التشغيل ومليء غطاء النحاس من السطح إلى الفتحة المطلية الجدران PTH.

٤-٣ جودة الماءِ للتنظيف وتكوين المحاليل
Water Quality for Cleaning & Solutions:

إمداد المياه لمحلولِ التصفيح أو الطلاء ولعمليةِ التنظيف يَجِبُ أَنْ يميز بمستوى منخفضُ مِنْ الشوائبِ. إذا احتوت المياه على مستويات عاليةَ مِنْ المعادنِ والشوائبِ الأيونيةِ المُذَوَّبةِ مثل الكالسيومِ والمغنيسيومِ والسيليكا والحديدِ والكلوريدِ، فإنها يُمْكِنُ أَنْ تسبّب أكسدةَ نحاسيةَ، وبقايا في الفتحات المطلية PTH، وتسبب تقشير peeling، وتلطّيخُ staining، وهشاشة roughness وتلوّث أيوني Ionic contamination. هذه المشاكلِ تُؤدّي إلى رفض اللوح لعملية الطلاء وقصر زمن انهيار الأجهزةِ equipment downtime، وخفّضَ عمر الحمام وصعوبةَ تحسّينِ ماءِ التشطيفِ. ومن هذا يجب أن يكون هناك أولوية للماءُ الممتاز مع تقسية منخفضة وذوبان كلي للجوامد. عموماً، كمية المواد الصلبةِ المُذَوَّبةِ لا يَجِبُ أَنْ تزيد عن ٥ ppm.

المواد الصلبةَ المُذَوَّبةَ عادة مُقاسة بتسجيل توصيلِية المحَلولِّ. وهذا يتم بمقياس التوصيلِية conductivity meter. حيث أن وجود ٥ ppm للمواد الصلبةِ المُذَوَّبةِ يساوي توصيلية مقدارها واحد ميكروموه في السنتيمتر $1\,\mu\,mho\,cm$.

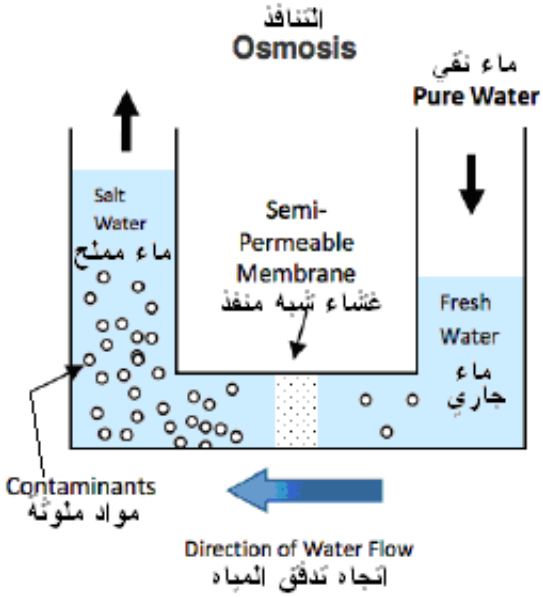
للحُصُول على مثل هذا الماءِ ذو النقاوةِ العاليِة والضرورية لتصفيح وتصنيع الواح دوائر مطبوعة، هناك عمليتان ذا استخدام شائع: التنافذ (الأزموزية) العكسي reverse osmosis (الأزموزية: تبادل يحدث بين سوائل مختلفة الكثافة ومفصولة بعضها عن بعض بغشاء عضوي حتى يتجانس تركيبها) وعملية إزالة التأين de-ionization process. وسيتم مناقشتهما فيما يلي.

<u>التنافذ (الأزموزية) العكسي</u>

Reverse Osmosis:

في هذه العمليةِ، يتم دفع الماء الخام تحت ضغط خلال غشاء نصف نافذ. يتم اختيار الغشاء بفتحات مساميةً لا تَسْمحُ بمرور الأملاحِ المُذَوَّبةِ، والمواد العضوية والجزيئية. بينما يَسْمحُ الغشاءُ لمرورِ الماءِ النظيف خلاله.

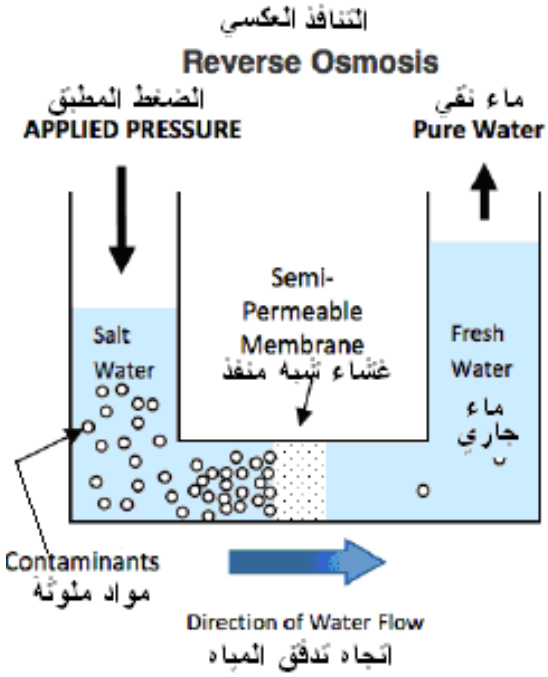
لفَهْم العمليةِ، دعنا نَعتبرُ بأنّ هناك ماء صافي ومحلول ملحي saline solution على جانبى غشاء نصف نافذ كما بالشكل (٤-٥) التنافذ الطبيعي Natural Osmosis. الماء الصافي سَيَنْشرُ خلال الغشاءِ ويُخفّفُ الماء الملحي على الجانبِ الآخرِ. هذه العمليةِ تُدْعَى 'التنافذَ أو الازموزية osmosis'، والضغط عند حدوث هذه العمليةِ يسمى الضغطَ التنافذيَ أو الأزموزي.



شكل رقم (٤-٥) يوضح ظاهرة التنافذ الطبيعي (بدون قدرة)

بنفس الطريقة، إذا طبق الضغط على المحلول الملحي، فإن ضغط التنافذَ يكون مَعْكُوسُ. هذا يُسمى ' التنافذ العكسي reverse osmosis '. يعتبر التنافذ العكسي الطريقة الفعّالة لتنقيةِ الماءِ وتَسْمحُ لإزالةِ من٩٠-٩٨ بالمائة مِنْ المعادنِ المُذَوَّبةِ و١٠٠ بالمائة من العضويات organics التي لديها

وزن جزيئي أكثر من ٢٠٠ وذلك بدفع الماء فقط والابقاء على الاملاح على الجانب الاخر للغشاء كما بالشكل رقم (٤-٦).



شكل رقم (٤-٦) يوضح ظاهرة التنافذ العكسي بتطبيق قدرة ضغط

عملية إزالة التأين De-ionization Process:

يتم الحصول على الماء المزال آيوناته بواسطة تكنولوجيا التبادل الآيوني Ion exchange technique . هذا يَتضمّنُ الماء المار الذي يَحتوي آيوناتَ مُذَوَّبةَ خلال وسط من الراتنجِ العضويِ الصلبِ. حيث يُحوّلُ هذا محتويات الماءِ الأيونية إلى H^+ و OH^-. تَحْدثُ العمليةُ في أعمدةِ التبادل الآيوني، المتوفرة بشكل تجاري. تستخدم عمليةَ تنقيةِ الماءِ المزال آيوناته متى تتطلب الامر ماءَ عالي النقاوة في تطبيقاتِ مثل تركيبِ الحمّامِ وللشَطْف في عمليةِ التصفيح. الماء المزال آيوناته المثالي يَجِبُ أَنْ يكونَ لديه الخصائصُ التاليةُ:

• Residual dissolved solids in ppm	< 1
• Electrical conductivity in micron/cm at 20 °C	< 1
• Turbidity	1.0 NTU
• Silica (SiO_2) in ppm	0.05
• pH Value at 25 °C	6.8 to 7.0
• Chloride in ppm	2.0
• Total organic carbon in ppm	2.0

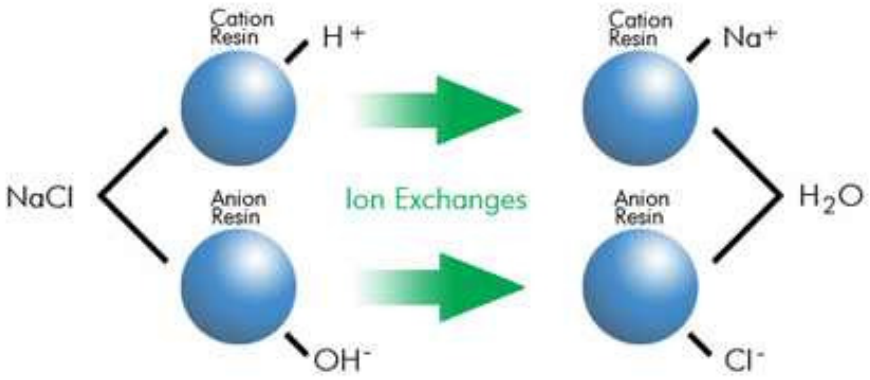
تُرشّحُ عمليةُ التبادل الآيوني الماء خلال موادِ راتنجية كرويةِ شبيههِ بالخرز (راتنجات التبادل الآيوني) شكل رقم (٤-٧). الآيونات في الماءِ تتحول لآيوناتِ أخرى مثبتة إلى الخِرَزِ. هناك طريقتين للتبادل الآيوني أكثر شيوعاً وهما: تليين أو تخفيف أو يسر الماء softening و ازالة الايونات من الماء deionization.

التليين أو التخفيف Softening مُستعمل أساساً كطريقة قَبْلَ المعالجة لإختزال أو خفض عسرة الماء قبل عملية التنافذِ العكسي reverse osmosis (RO). تَحتوي المنقّيات softeners على الخِرَزَ الذي يستبدلُ آيونا الصوديومِ بكُلّ آيون المغنيسيومَ أَو الكالسيومَ المزالان مِنْ الماءِ "اليسر soft water".

شكل رقم (٤-٧) يوضح خرز راتنج التبديل الأيوني

تتبـادل حبـات ازالـة الايونـات Deionization (DI) beads إمّـا مـع آيونـات الهيـدروجين hydrogen ions إلى كاتيونات cations أو أيونات الهيدروكسيل hydroxyl ions إلى آنيونات anions. راتنجات تبادلِ الكاتيون، مصنوعة من الستايرينِ styrene (هيدروكربون سائل تستعمل بوليمراتـه فـي صـنع المطـاط) وبنزينـديفينيل divinylbenzene حيـث يَحتويـانِ علـى مجموعـاتَ حامض السلفوني sulfonic acid groups، سَيَتبادلُ آيون هيدروجينِ مع أيّ كاتيونات (ومثال على ذلك: Na^{+}, Ca^{++}, Al^{+++}). وبنفس الطريقة، راتنجات تبـادلِ الأنيونـات، مصـنوعة مـن الستايرينِ styrene وتحتوي علـى مجموعـاتَ الأمونيـومِ الرباعيـةِ quaternary ammonium groups، سَيَتبادلُ أيون الهيدروكسيل مع أيّ أنيونات (ومثال على ذلك: Cl^{-}). آيون الهيدروجينَ مِنْ مبدّلِ الكاتيون يَتّحدُ بآيونِ الهيدروكسيل من مبدّلِ الانيون anion لتكوين الماءِ الصافي. شكل رقم (٤-٨).

هذه الراتنجات قَدْ تغلف في مبدلات سريرِ منفصلة separate bed exchangers بوحداتِ منفصلةِ لأسرة تبديل كاتيون وآنيون. أَو قَدْ تكون مزدحمة في مبدّلات السريرِ المُخْتَلَط mixed bed exchangers محتوية خَلِيْط من كل من نوعى الراتنجات. في كلا الحالات، الراتنج يجب أنْ "يُجدّدَ" بمجرد أن يتم تَبادلَ كُلّ هيدروجينه و/ أَو آيونات الهيدروكسيل hydroxyl للملوثات المَشْحُونِة في الماءِ. يَعْكسُ هذا التجديدِ عمليةَ التنقيةَ، بإستبدالُ الملوثات يَتّجهُ إلى راتنجَ DI مع الهيدروجينِ وآيوناتِ الهيدروكسيل hydroxyl.



شكل رقم (٤-٨) يوضح نظرية التبادل الآيوني

التخلص من التأين يُمكنُ أَنْ يَكُونَ مكوّناً مهماً لنظام تنقيةِ الماءِ الكليِّ عندما يستخدم بالتمازج مع الطرقِ الأخرى المناقشة في هذه مبادىءِ القراءة مثل RO filtration وامتصاص الكربونَ carbon adsorption. تُزيلُ أنظمةُ DI الآيونات عملياً، لَكنَّها لا تزيل أكثر العضويات organics أَو كائنات حيّة مجهرية. الكائنات الحيّة المجهرية يُمْكِنُ أَنْ تَرْبطَ بالراتنجِ.

٤-٤ تكنولوجيا التصفيح Plating Technology:

تَطْلي أو تصفح ألواح الدوائر المطبوعة أَو تغطى بالمعدنُ metal coated بواسطة أحد أنواع العمليات الثلاثة التالية:

- التصفيح (الطلاء) الكهربائي Electroplating، و
- التصفيح (الطلاء) الغير كهربائي (الكيميائي) Electroless plating؛
- التصفيح (الطلاء) بالغمس Immersion plating؛

٤-٥ التصفيح أو الطلاء الكهربائي Electroplating:

٤-٥-١ أساسيات الطلاء الكهربائي Electroplating basics:

الطلاء الكهربي هو العمليةُ التي فيها يتم ترسيب المعدن على سطح موصّل بمرور التيار المستمر خلال محَلول أليكتروليتيٍ electrolytic solution يَحتوي على ملح قابل للذوبان مِنْ المعدنِ الذي سَيُودَعُ أو سيرسب.

عندما يمر تيار أحادي الإتجاه خلال محَلول، يُؤدّي إلى حركة الجزيئات المشحونة خلاله. هذه الجزيئاتِ تسمى الآيوناتَ، والطرفيات التي تستَعمل لعُبُور التيار إلى المحَلولِّ solution تسمى الأقطاب الكهربائية electrodes. مجموعة القطبين الكهربائيين والمحَلولِّ يشكلان ما يُعرف بخلية التحليل الكهربائي electrolytic cell. المصطلحات الكهروكيمياوية الأخرى المرافقة مع الطلاء الكهربي electroplating مدرجة فيما يلي.

- القطب الموجب Anode: هو القطبَ pole أَو القطب الكهربائي electrode الذي عنده يأخذ التفاعل الكيميائي للأكسدة مكانه ومن ثم يطلق عليه القطب الموجب Anode. وهو عبارة عن قطب كهربي مشحون بشكل موجب. أثناء التحليل الكهربائي electrolysis ، تتكون آيونات موجبة عند هذا القطب الكهربائي.
- أنيونات (آيونات أو شوارد سالبة) Anion: هى عبارة عن شوارد سالبة الشحنة التي تكون، في التحليل الكهربائي، مَجْذُوبة نحو القطب الموجب.
- القطب السالب Cathode: هو القطب الكهربائي أَو القطبَ الذي فيه يحدث التفاعل الكيمياوي للإختزال chemical reaction of reduction حيث يسمى القطب السالبُ. وهو عبارة عن قطب كهربائي مشحون سلبياً. أثناء التحليل الكهربائي، آيونات سلبية تتكون عند هذا القطب الكهربائي.
- كاتيون (الآيون الموجب) Cation: وهو عبارة عن شوارد أو أيونات موجبة الشحنة والتي تكون، في التحليل الكهربائي، مَجْذُوبة نحو القطب السالب.
- المحلول الكهربائيElectrolyte : وهو عبارة عن وسط موصل الذي فيه يتدفقَ التيارِ بحركة الآيوناتِ. للطلاء الكهربي electroplating، يَجِبُ أَنْ يَحتوي المحلول الكهربائي ملحَ مُذَوَّبَ للمعدن الذي سَيُودَعُ أو سيرسب.

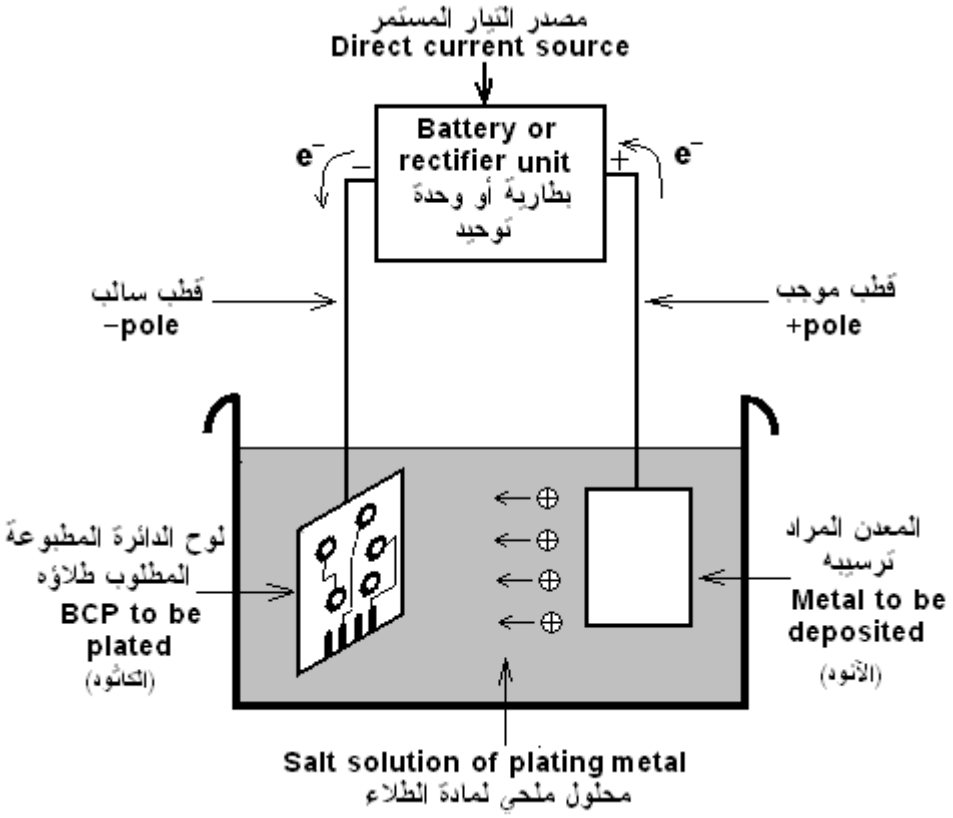
يستعمل المعدن المطلوب، وفي موضوع اهتمامنا لوح الدائرة المطبوعة، طْلائه كقطب سالب في خلية التحليل الكهربائي. بينما القطب الموجب في الخليةِ يُمكنُ أَنْ يَكُونَ تماماً مثل المعدن الّذي سَيُكْسَى به على القطب السالبِ أَو أيّ معدن خامد آخر يكونُ لديه توصيلُ جيدُ. ردَّ الفعل أو التفاعل الذي يَحْدثُ عند الوصلة بين المحلول الكهربائي والأقطاب الكهربائية يسمى التحليل الكهربائي. وهو مصحوب بنقلِ الألكتروناتِ كما بالشكل رقم (٤-٩).

٤-٥-١-١ عمليةَ الطلاء الكهربائي الاساسية
:The Basic Electroplating Process

لوح الدائرة المطبوعة الّذي سَيُطْلَى يُنظّفُ أولاً كليَّاً لجَعْله خالياً من النفطِ، والدهون والجزيئات الأجنبية. يتم استخدام لوح الدائرة المطبوعة المُنَظَّف هذا كقطب سالب cathode بينما القطب الموجب يستخدم فيه المعدن المراد الطلاء بها. يظل المحلول الكهربائي في خزان الطَلاء الكهربي electroplating tank. القطبان الكهربائيان: القطب الموجب anode والقطب السالب cathode، يتم غمسهما في المحلول الكهربائي electrolyte.

عندما يمر التيار المستمر direct current من خلالِ المحلول الكهربائي electrolyte، تهاجرُ آيونات الطلاء المعدنيةِ coating metal ions نحو القطب السالب cathode وتصبحُ مُودَعة أو مرسبة deposited. أكثر محاليل التصفيح plating solutions ممثلة في الطبيعةِ. لذا، إستعمالها وجودة الإيداعاتِ أو الترسيبات الناتجةِ تَعتمدُ على متغيّراتِ المعالجة المتضمنة. وفقاً لذلك، يَعتمدُ التوديعَ أو الترسيب deposition على درجةِ الحرارة، كثافة التيار، تركيز آيونِ المعدن ، pH، حركة المحلول والترشيحِ. الشكل رقم(٤-٩) يوضح المبدأ الأساسيَ للطَلاء الكهربي. لذا، يجب التحكم في الظروف لكي يكون التركيب موحّد ومحافظ عليه في حيز تشكيلة متسعة من متغيرات التشغيل.

إذا كان القطب الموجبِ anode من المعدن الذي هو نفسه المعدن الّذي سَيُودَعُ أو سيرسب على القطب السالبِ cathode، فإن تركيز المحلول الكهربائي يَبْقى بدون تغيير أثناء التحليل الكهربائي. المعدنَ المُودَعُ أو المرسب على القطب السالبِ مُزَالُ مِنْ المحلول الكهربائي. هذه الخسارةِ في المحلول الكهربائي يتم تعويضها حيث يُذوّبُ القطب الموجبُ في المحلول الكهربائي بشكل متناسب. إذا كان التوديعِ أو الترسيب وفك المحلول لَيسا مساويان، فإنه سَيُؤثّرُ على كل من التركيز المعدني في معدل التوديعَ أو الترسيب والمحلول الكهربائي.



شكل رقم (٤-٩) يوضح اساسيات الطلاء الكهربائي. المادة المراد ترسيبها تربط على الآنود، بينما لوح الدائرة المطبوعة المطلوب طلاؤه يربط على الكاثود.

٤-٥-١-٢ قانون فاراداي للتحليل الكهربائي
Faraday's Laws of Electrolysis

إنّ المبدأ الأساسيَ للتحليل الكهربائي مَحْكُومُ بقوانينِ فاراداي، التي سيتم شرحها فيما بعد.

القانون الأول

كتلـةَ اى مـادة أنتجـتْ أَو إسـتهلكتْ عنـد أى قطـب كهربـائي (سـواءً كـان قطـب موجـب أَو قطـب سالب)، تتناسب مباشرة مع كميةِ الكهرباءِ التي تمْرُّ من خلالِ المحَلولِّ.

$$M \alpha Q \qquad Q = I \times t \qquad \text{or} \qquad M \alpha I \times t$$

لذا $M = Z \times I \times t$

حيث M = كتلة المادةِ بالجرام،

I = التيار (بالأمبير)،

Z = المكافئ الكهروكيمياوي، و

t = الزمن بالثواني.

عندما تكون I=1 أمبير ، $t = 1$ sec. إذن $M = Z$

القانون الثاني

عندما تمر نفس كميةِ الكهرباء من خلالِ المنحلات بالكهرباءِ electrolytes المختلفةِ، فإن وزن المعدن المرسب يتناسب مع مكافئِه الكيميائيِ

$$M = \frac{ITA}{nF}$$

حيث

A = الوزن الذرّي Atomic weight (أَو الوزن المكافئ × التكافؤ)،

N = التكافؤ Valency (عدد الألكتروناتِ المشتركة في اختزال الآيونِ المعدنيِ)، و

F = ثابت فاراداي Faraday's constant.

يحْدثُ التصفيح أو الطلاء Plating عند القطب السالبِ cathode، وبمعنى آخر: القطب الكهربائي السالب. لذا، سُمك الإيداعِ أو الترسيب على سطح القطب السالبِ يَعتمدُ على الزمن والتيارِ المدفوع فيه. على سبيل المثال، ٠.٥ mil (٠.٠٠٠٥ من البوصة) مِنْ سبيكةِ من القصدير–الرصاص تم طليها عند تيار قيمته ١٧ أمبير / قدم مربع لفترة زمنية قدرها خمس عشْرة دقيقةِ.

مِنْ قانونِ فاراداي، قَدْ يُستَنتجُ بأنه إذا كان واحد كولوم (أمبير.الثانية) يُودعُ أو يرسب ١.١١٨ مللي جرام مِنْ الفضةِ، من ثمّ فإن ٨ كولوم coulombs سَتودعُ أو سترسب ١.١١٨ × ٨.٩٤٤ مللي جرام مِنْ الفضةِ لإنْجاز هذه الكميةِ مِنْ الإيداعِ. من الغير أساسي أن ينتج ٨ كولوم سواء بتدفق تيار مقداره ١ أمبير لفترة زمنية مقدارها ٨ ثوان، أَو ٢ أمبير لفترة زمنية مقدارها ٤ ثوان ، أَو أيّ تيار وزمن آخرين.

٤-٥-١-٣ المعالجة المبدئية للطلاء الكهربائي :

التنظيف والمعالجة المبدئية الحسنة ضروريان في تصفيح ألواح الدوائر. العديد من حالات الترابط الفاشل على المعدنِ النحاسي تعود مباشرة إلى التنظيف السيّئِ لأسطحها قبل تطبيق التصفيح المعدني. الطرق التالية تُستَعملُ لتَنْشيط الأسطح المعدنيةِ النحاسيةِ:

a) تنظيف ذواب أَو مفكك الدهون؛

b) تنظيف قلوي؛ و

C) تنظيف ميكانيكي.

العمليات أعلاه مُوَضَّحة في الفصلِ ٧ الخاص بموضوع تكنولوجيات نقلِ الصورةِ. بعد تنظيف السطحِ، يخضع لوح الدائرة المطبوعة إلى الطلاء الوقائيِ المُخْتَلِفِ أَو تقنياتِ التصفيح لمَنْع التآكلِ ولزيَادَة قابلية اللحام solderability.

٤-٥-١-٤ الأقطاب الموجبة Anodes:

في الطلاء الكهربائي، تستعمل الأقطاب الكهربائية الموجبة أَو الآنود anodes على شكل قضبان bars، أو صفائح plates، أو قضبان rods أَومفارش pallets. المعدن المستعمل قَدْ يَكُون تماماً مثل الذي يتكون منه المحلول الكهربائي electrolyte أَو قَدْ يَكُون مختلفَ، لَكنَّه يَجِبُ أَنْ يكُونُ خالياً من أيّ شوائب. القطب الموجب الملوث سَيُؤثّرُ على عمليةِ الطَلاء الكهربائي. بل يَجِبُ أَنْ، يَكُونُ نقي بنسبة ٩٩.٩ بالمائة. يعتبر مقاس القطب الموجبِ مهمُ جداً أيضاً حيث بناءً عليه يحدد سعة التيار المحمول.

٤-٥-١-٥ حقائب القطب الموجبِ Anode Bags:

حقائب القطب الموجبِ تُستَعملُ لتَغْطية الأقطاب الموجبةِ وترشّيحُ الجزيئاتَ المُذَوَّبةَ. وتصنع حقائبَ القطب الموجبَ من موادِ البروبلين polypropylene. وهى متوفرة بدرجاتِ مُخْتَلِفةِ مِنْ واحد ميكرونِ إلى ١٠ ميكروناتِ. الشكل رقم (٤-١٠) يوضح حقائب القطب الموجب.

شكل رقم (٤-١٠) يوضح حقائب القطب الموجب

٤-٥-٢ الطلاء الكهربائي بالنحاس Copper Electroplating:

في ألواح الدوائر المطبوعةِ، يتم طلاء النحاس كهربائياً لزيَادَة سُمكِ الطبقةِ النحاسيةِ على السطح وحوائط الفتحات المثقبة. سُمكَ التصفيح أو الطلاء على السطحِ هو ٧٠ ميكرون وعلى الفتحات الخلالية through-hole هو ٣٠ ميكرون. التصفيح أو الطلاء النحاسي يتم بشكل رئيسي لبِناء طبقة طلاء خلال الفتحاتِ في الألواحِ ثنائيةِ الجانب أَو متعددةِ الطبقات. ويمتاز النحاس بأن لَهُ العديد مِنْ الخصائص التي تجعله مناسباً للإستعمالِ الواسع الإنتشارِ في ألواح الدوائر المطبوعة. على أية حال، تخضع الألواحَ أحياناً للشروطِ البيئيةِ القاسيةِ أثناء اللحام والتجميع، ولذا، يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها صفة إلتصاقُ جيدة وخصائص تمدد حراريةِ متوافقة. وهناك عِدّة صياغات متوفرة بشكل تجاري. على أية حال، في العمليةِ الصناعيةِ المُفَضَّلةِ، يستعمل محلول كبريتاتِ نحاسي حامضيِ، محتوياً الكبريتاتِ النحاسيةِ، وحامض الكبريتيك، وآيون كلوريدِ وإضافاتِ عضوية.

الوظائفَ المهمةَ لمكوناتِ الحمّامَ هى:

• Copper sulphate	:	Gives copper metal ions
• Sulphuric acid	:	Improve the ionic movement or increases the conductivity of the solution
• Hydrochloric acid	:	Improves the uniform dissolution of the anode
• Additives	:	Increases the cathode wetting and gives wetting agents the uniform copper deposition on the cathode

تركيب الحمّامِ المثاليِ للتصفيح النحاسي الحامضي هى كالتّالي:

- Copper sulphate ($CuSO_4$) 75 – 100 gm/l
- Sulphuric acid (H_2SO_4) 90 – 110 ml/l
- Hydrochloric acid 30 – 70 ppm
- Additives and wetting 4 – 8 ml/l Agents

إنّ الإضافاتَ الأكثر شيوعاً المستعملة هى الجيلاتين gelatin وترترات البوتاسيوم potassium tartarate.

ظروف التشغيل الأمثل للتصفيح الموحّد أو المنتظم هى كما يلي:

• Temperature	25–30 °C
• Anode current density	150–300 A/m^2
• Cathode current density	300–600 A/m^2
• Agitation	Vigorous oil-free air Cathode movement Continuous solution filtration
• Anode	Phosphorus de-oxidized copper [0.03 per cent phosphorus]
• Anode Bags	Polypropylene
• Hooks	Stainless steel [316 grade or titanium]
• Anode to Cathode ratio	2:1 (minimum)
• Distance between anode and cathode	15 cm [maximum]
• Plating rate	1 micron in one minute
• Chloride content in the bath	40 ppm

التصفيح أو الطلاء عموماً حوالي ٢٥ ميكرون نحاسٍ في أربعون دقيقةٍ عند تيار قيمته ٣٠٠ أمبير/متر تربيع لتَنفيذ الطلاء بالنحاسِ. ألواح التشغيل Panels توضع في أرفف وتغْطسُ بشكل

عمودي في حمّامِ المنحل بالكهرباءَ (المحلول الكهربائي) electrolyte bath . يتم توصيل هذه الارففَ مع قضيب القطب السالبَ مِنْ الخليةِ (قطب ذو شحنة كهربائية سالبة cathode من مولّد تيار). القطب الموجب Anode عادة هو قضيب نحاسي رأسي.

الآيونات النحاسية Cupric ions في المحلول تكون مَجْذُوبة نحو القطب السالبِ cathode ، حيث تكتسب إلكترونين وترسب كنحاس معدني:

$$Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu.$$

يُذوّبُ القطب الموجبُ في المحلول طبقاً للتفاعل التاليِ:

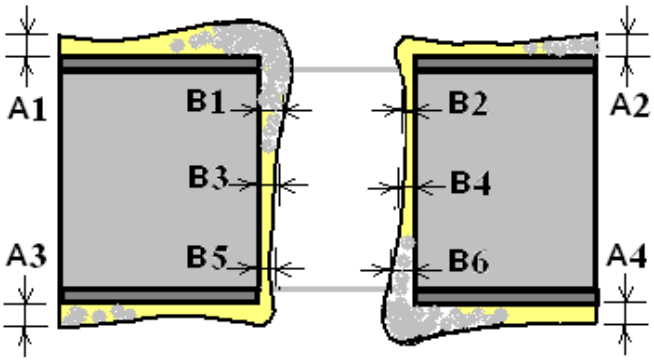
$$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e$$

كل من التفاعلين يتم حدوثهما بشكل آني. ويتسبب هذا بواسطة التيارِ المتدفق خلال الحمّام مِنْ القطب الموجبِ anode إلى القطب السالبِ cathode والعكس بالعكس خارج الحمّامِ.

النحاس المُرَسَّب كهربياً يَجِبُ أَنْ يَستوفى متطلباتَ صارمةَ بخصوص قابليةَ التطرّق ductility، وقوّة قابلية الشدّ tensile strength، ومقاومة الإعياءِ fatigue resistance، وانخفاض المقاومة النوعية الكهربائية low electrical resistivity، وانخفاض المسامية low porosity والتصاق قوي strong adhesion إلى النحاسِ الغير كهربائي electroless. أغلب هذه الخصائص تَعتمدُ على كل من تركيب الحمّامِ وظروف تشغيله. عملياً، سَيَكُونُ من الصعبَ إختِبار الطبقةِ النحاسيةِ. بينما جودة التصفيح في أغلب الأحيان يتم الحكم عليها مِنْ مظهرها appearance وبفحص البناء الدقيق microstructure examination كطرق مراقبة الجودةِ الغير مباشرةِ.

بارامتر واحد، يُتعلّقُ بسُمكِ الطلاء، وهو المعروف ب" قدرة الرَمي Throwing Power ". حيث يُعَرّف بإنه نسبة السُمكِ المطلي لمسافة نصف الطريقَ داخل الفتحاتِ إلى متوسط السُمكِ المطلي على سطحِ لوح التشغيل، الشكل رقم (٤-١١). أي حمّام سَيكونُ لديه قدرة رمي throwing power تناظر أو تساوي ١، عندما يَطْلي طلاءاً مستوياً على كامل المنطقةِ القابلة للتصفيح

platable. حيث أن الفتحات المثقبة عمودية على اللوح، فإن حمام ذو قدرة رَمي عالية يمكنه من التصفيح الملائم داخل الفتحةِ بدون تصفيح مفرط على السطح المستوي للوح.



$$T/P\ (Min.) = \frac{(B3+B4)/2}{(A1+A2+A3+A4)/4}$$

$$T/P\ (IPC) = \frac{(B1+B2+B3+B4+B5+B6)/6}{(A1+A2+A3+A4)/4}$$

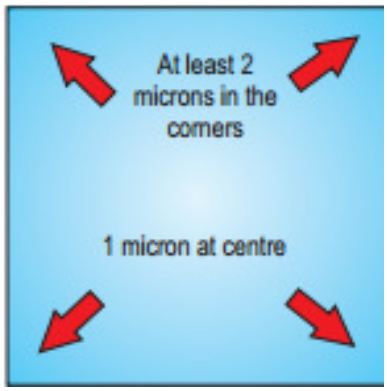
شكل رقم (٤-١١) يوضح كيفية قياس قدرة الرمي في فتحة ذات جدران مطلية

٤-٥-٢-١ قدرة الرَمي Throwing Power

تعرف قدرة الرمي بأنها قدرة محلول الطَلاء لإيداْع أو ترسيب المعدنِ بشكل موحّد (منتظم السمك) على القطب السالبِ المُشَكَّلِ بدون إنتظام.

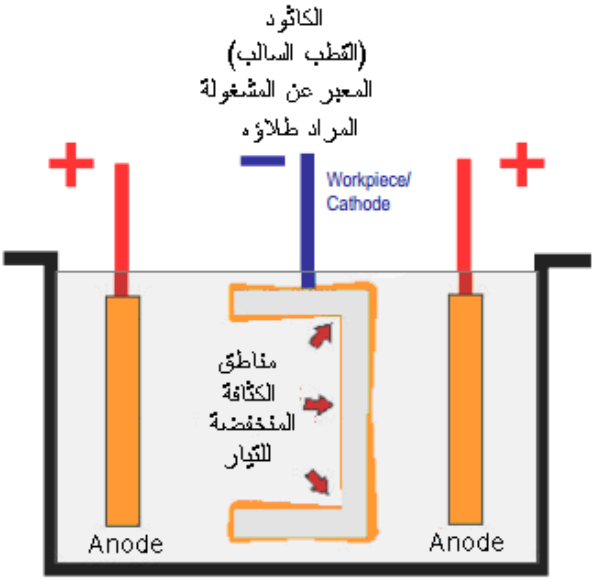
ويمكن تعريفها أيضاً بأنها هى مقياس لمقدرةِ ذلك المحلول للطَلاء بسُمك موحّد (منتظم) على قطب سالب مِنْ شكلِ غير منتظم. تذكّرْ بأنّ العملَ يكون طلاء القطب السالبُ – لذا فإن القطب السالب المُشَكَّل بدون إنتظام يُشيرُ إلى قطعةِ مُشَكَّلةِ بشكل سيئ ويَجِبُ أَنْ تُعالجَ. إذا كان مثل هذا القطب السالبِ (أَو قطعة العملِ) يتم طلاؤه بسُمك موحّد أو منتظم على كامل منطقتِه، فإن المحلول سَيُقالُ بأن لديه قدرة رَمي متقنة perfect throwing power . إذا تم الطلاء فقط على تلك المناطقِ الأقربِ إلى الأقطاب الموجبةِ ثمّ يكون للمحلول بعد ذلك قدرة رَمي سيّئةِ جداً. فإن طلاء محلول التصفيح في مكان ما بين هاتان النهايتين يُمْكِنُ أَنْ يُصنّفَ على أنه "رديء" "أو متوسّط" "أو جيد".

عند تطبيق التيار على حمل العمل (المشغولة) فإن توزيع التيارِ لَن يكون موحّدَ على كامل سطح المشغولة. إذا كان سطح المشغولة مساحته واحد ديسيمترِ مربّعِ مَطْلي بتيار مقداره ٤ أمبيراتِ فإن متوسط كثافةِ التيار تصبح ٤ أمبيراتِ/ديسيمتر مربع لكن الكثافةَ الحقيقيةَ عند أي بقعة واحدة (كثافة التيار المحليّة) قَدْ تَتفاوتُ على نحو واسع. الإختلاف الفعلي سَيَعتمدُ على شكلِ الجزءِ وترتيبِ الأقطاب الموجبةِ؛ حتى مع الأشكالِ الاسهل – الشريحة المستوية – نجد أن الإختلاف سَوف لا يقل عنْ ٢:١. وسوف يكُونُ أعظم مع الأشكالِ الأكثر صعوبةً مثل إنبوب حيث سيصل تيارا قليلاً أَو لا يَصِلُ إلى الداخل. بإستعمال الأقطاب الموجبةِ المصمّمة خصيصاً، فأنه يمكننا تحسين توزيع التيار كما بالشكل رقم (٤–١٢).

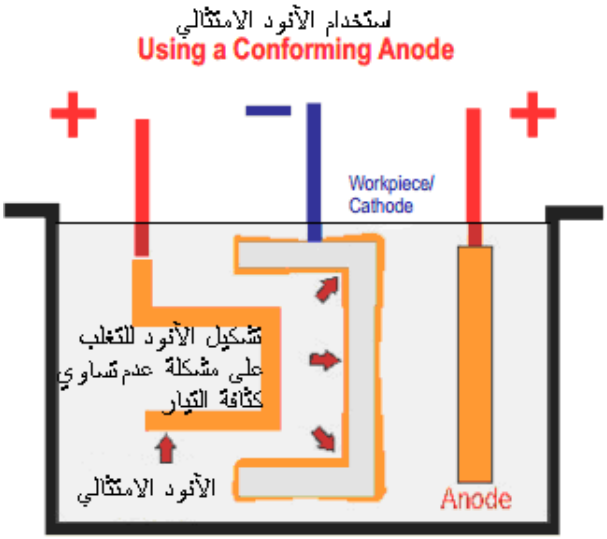


شكل رقم (٤–١٢) يوضح سمك توزيع الطلاء المعدني على شريحة مستوية
حيث لا يقل عن النسبة ٢:١

كما أن هناك مدى مُفَضَّل مِنْ كثافاتِ التيار للقطب السالبِ لكُلّ محلول تصفيح لذا هناك مدى صحيح لكثافةِ القطب الموجبِ. الكثافة العالية جداً يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ التشكيلَ على القطب الموجبِ لفيلمِ عَازْل (عادة أكسيد)، الذي يُمْكِنُ أَنْ يقلل التيارَ ويُسبّبُ مشاكلَ أخرى. الكثافة المنخفضة جداً هى أيضاً يجب تفاديها.



شكل رقم (٤-١٣) يوضح مشغولة غير منتظمة، ويتضح عدم انتظام سمك طبقة الطلاء الكهربائي على اسطحها نظراً لعدم تساوي كثافة التيار على طول أسطح المشغولة



شكل رقم (٤-١٤) يوضح مشغولة غير منتظمة، ويتضح كيفية التغلب على مشكلة عدم تساوي كثافة التيار وذلك بتشكيل الآنود بشكل تجويف المشغولة

من المرغوبُ دائماً العمل على ضمان سُمكَ مستويَ مِنْ التصفيح – أَو توزيع معدني موحّد uniform metal distribution. يَعتمدُ التوزيعُ المعدنيُ بشكل رئيسي على توزيعِ التيارِ، حيث نعرف أنه إن لم يكن متساوي فإنه سيكون هناك، لهذا السبب، عدم استواء مناظر في سمك التصفيح كما بالشكل رقم (٤-١٣). أيّ قياس مأخوذ لجعله توزيع تيار أحسن سوف يعطي أيضاً المزيد من توحيد وتنظيم سمك التصفيح. مثل هذه الطريقةِ هناك طريقة يتم فيها تشكيل القطب الموجب (الامتثالي) بالشكل الذي يتطابق مع السطح الخارجي للجزء المراد تصفيحه. وحيثما كان المكوّن لَهُ تجويف، فإن تشكيل القطب الموجب لابد وأن يتطابق مع هذا التجويفِ كما بالشكل رقم (٤-١٤)، ليحافظ دائماً على مسافة آمنة مِنْ السطحِ لتَجَنُّب الإحتِراق.

الميكانيكا الفعلية لعمليةِ الترسيب الكهربائي electrodeposition، وتأثير بارامتراتِ العمليةِ تعتبر هامة للغاية. درجة الصعوبةِ للتصفيح خلال الفتحاتِ تَعتمدُ على سُمك اللوح بالإضافة إلى قطرِ الفتحةِ. على سبيل المثال، إذا كان معلوماً فتحتين، كلاهما بنسبة الطول للعرض١٠:١، التفضيل سَيَكُونُ لَتصميم لوح التشغيل ذو سمك ١٠٠ mil مَع قطر عبور مقداره ١٠ mil، مقابل لوح تشغيل سمكه ٢٠٠ mil مع فتحات بقطر ٢٠.mil .

٤-٥-٢-٢ تحقيق الاستواء في عملية التصفيح: levelling

في الفقرةِ السابقة ناقشنا ما هو أكثرُ ملاءمة والمعروف بقدرة الرمي الكبيرة macro throwing power – وهى قدرة محلول معين للتَوزيع بانتظام فوق بَعْض المسافات. بَعْض المحاليل تكون أحسن عند هذا الحد عن الاخرين – مثل محاليل التصفيح لسيانيد النحاس لَها قدرة رَمي جيدةِ إلى حدّ معقول بينما تصفيح النحاس الحمضي الأساسي لَه قدرة رمي فقيرةُ بشكل خاص. هناك على أية حال اعتبار ثانوي ومهم على حد سواء وهو قدرة المحلول للتصفيح للوصول بالتوزيع حتى قاع الخدوشِ والأخاديد (أو الوديان الدقيقة) مع تحقيق التغطية المستوية لسطح المعدنِ. وهنا يكون الإختلاف بين مناطق كثافة التيار العالي والمنخفض مقاسة بالميكرونات. هذا نوعُ من ظروف السطحِ التي قَدْ تصادفُ كنتيجة للتَفجير، أو الطحن، أو التَلميع، أو عمليات السحب أَو النتوءِ. شيء شاذّ هو أن تكون تلك المحاليل بقدرة رمي كبيرة macro throwing power جيدِة لا تواجه بالضرورة بقدرة رَمي دقيقةِ micro throwing power وتلك بقدرة رَمي دقيقةِ جيدةِ (مثل النحاسِ الحمضيِ والنيكلِ الحمضيِ) ليس لديها قدرة رمى كبيرة طبيعية وجيدة.

المحلول الذي لَديه قدرة رَمي دقيقةِ micro throwing power وجيدةِ يُمْكِنُ أَنْ يتكيّفَ لإداء الإستِواء levelling . هذا مُنجَز بإضافةِ الإضافاتِ العضويةِ إلى نظامِ التصفيح. هذه المواد الكيمياويةَ التي تَتجمّعُ بشكل تفضيلي حول منطقة التيار ذو الكثافة العالية "المستوى العالي"، و" منحدر القمة top bank " للشَقِّ أَو الأخدودِ ولَهُما تأثيرُ خَنْق الإيداعِ أو الترسيب في تلك المنطقةِ، يجبر أو يدفع التوديعَ أو الترسيب لمسافة داخل الشَقِّ أو الاخدود. إنّ التأثيرَ الصافيَ هو أن التصفيح في الشَقِّ تَمْضي في التَعزيز بسرعة أكبر مِنْ التصفيح على السطحِ حتى تستوي كُلّ الشقوق. ومن ثم يصبح السطحَ الكاملَ أكثر استواءً أَو حتى مِنْ قبل بدءِ عمليةِ التصفيح، راجع الشكل رقم (٤-١٥).

على أية حال ، المحلول الذي يَعْرضُ قدرة الرَمي الدقيقةِ الجيدةِ لَيس بالضرورة مستعمل دائماً فحسب للتَرويج للإستِواء. مقدرة المحلول للترسيب بشكل نهائي في التجاويف الدقيقة وعلى القُمَمِ الدقيقةِ تَضْمنُ إيداعاتَ مستويةَ منخفضة المسامية. هذا مفيدُ في إنْتاج معطف المانعِ الذي سَيَمْنعُ إنتشارَ المعدن الأساسي، مهمة على سبيل المثال عند تصفيح الذهب. النيكل الحر المضافُ يَستعملُ أحياناً لهذا الغرضِ.

٤-٥-٢-٣ مراحلِ طلاء ألواح الدوائر المطبوعة بالنحاس كهربياً:

تطلى ألواح الدوائر المطبوعة كهربياً بالنحاس في مراحلِ مختلفةِ، وهى:

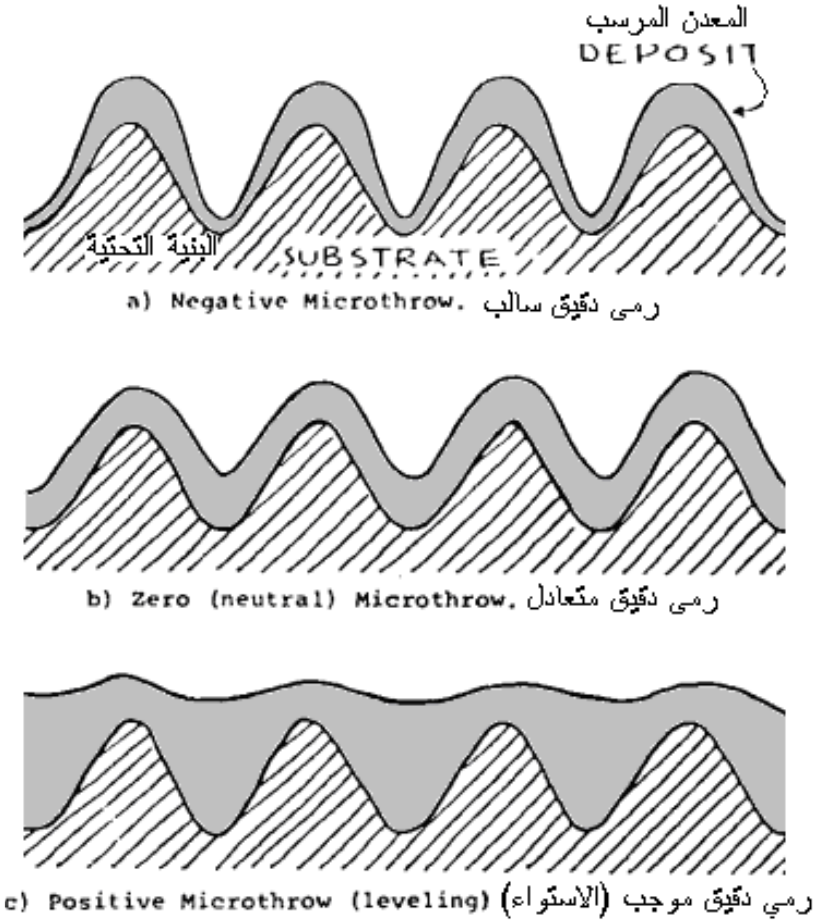
- تصفيح لوح التشغيل Panel Plating، و
- تصفيح النمطِ Pattern Plating .

ويتضح في الشكل رقم (٤-١٦) المخطّط الإنسيابي لعمليةِ التصفيح النحاسية.

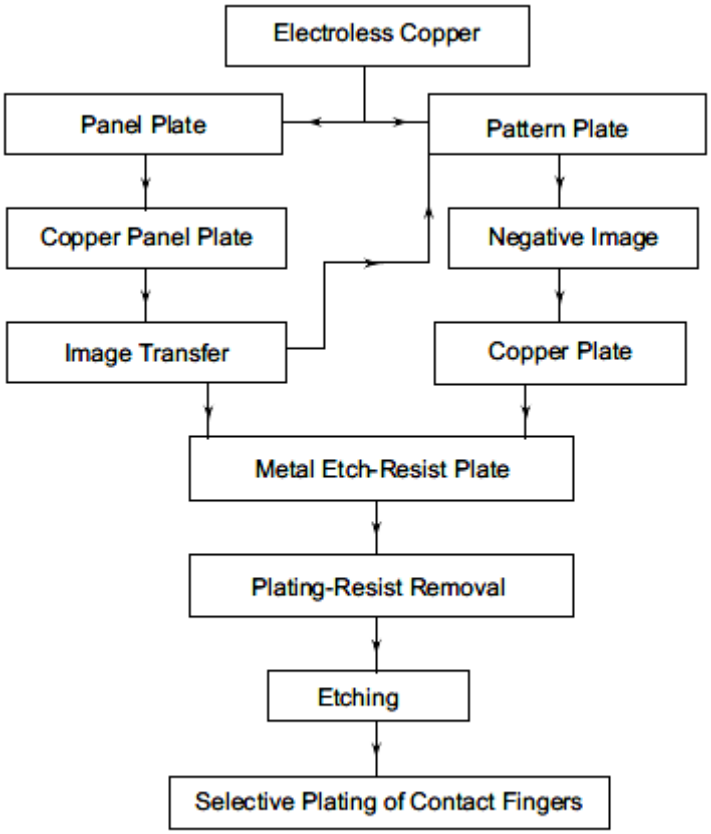
عملية تصفيح لوح التشغيل — وهى تتضمّنُ ما يلي:

- تصفيح النحاس الغير كهربائي Electroless ؛
- التفتيش Inspection ؛
- الغمس الحامضي - ١٠% H2SO4
- تشطيف ماءِ (de-mineralized water)؛

- الطَلاء الكهربائي للنحاسِ؛
- تشطيف ماءِ؛
- التَجفيف؛ و
- مقاومْ الطلاء [مقاوم شاشة ومقاوم فيلم جاف].



شكل رقم (٤-١٥) يوضح أنواع قدرات الرمي الدقيقة



شكل رقم (٤-١٦) يوضح خطوات عملية الطلاء بالنحاس

عملية تصفيح النمطِ — وهى تتضمّنُ ما يلي:

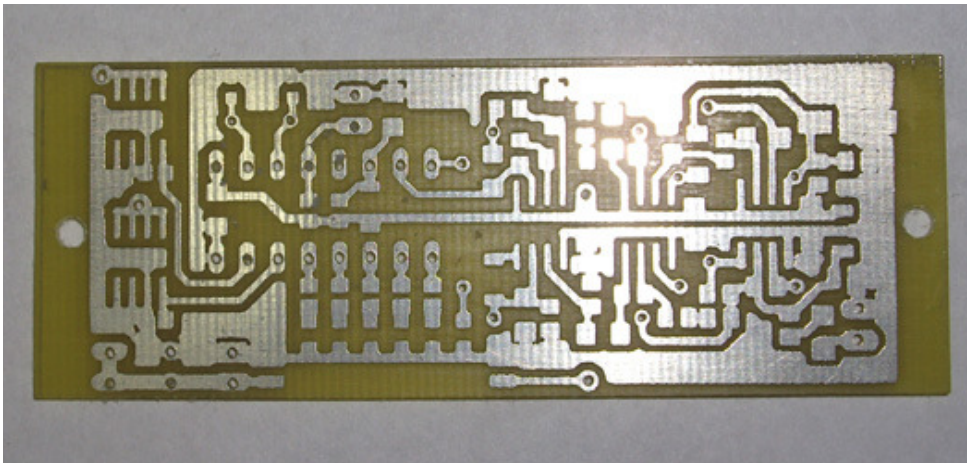
- الطَلاء النحاسي الكهربائي والغير كهربائي Electroless؛
- مقاومْ الطلاء [التَعْرِيض والإظهار]؛
- تشطيفِ ماءِ باستعمال الرذاذ؛
- الغمس الحامضي؛
- الغمس في الماءِ [de-mineralized water]؛
- طَلاء النحاسِ الكهربائي؛
- تشطيف ماءِ؛

- الغمس الحامضي؛
- تشطيف ماءِ [de-mineralized water]؛
- مقاومْ طلاءاً معدنياً؛
- تشطيف ماءِ؛
- التَعْرِية Stripping والنقش etching.

٤-٥-٣ الطلاء الكهربائي بالقصدير Tin Electroplating:

القصدير النقي كثير الإستعمالُ لتصفيح ألواح الدوائر المطبوعة بسبب فوائدِه التي تتمثل في قابلية اللحام الجيدة solderability، سهولة التحكم في التصفيح ومقاومةِ التآكلِ وخصائص مقاوم المعدنِ. وموصي به أيضاً بأن القصدير يجب أنْ يدْمَجَ على اطراف العنصر.

بالرغم من أن التَشْكِيل في العملياتِ متوفرة للتصفيح بالقصدير الشكل رقم (٤-١٧)، إلا أن العملية التي تَستعملُ المحلول الكهربائي نوع كبريتاتَ من القصدير الحمضي هو النظام المستعملُ على نحو واسع. القصدير مَطْلِيُ مِنْ المحاليل الكهربائية نوعِ الكبريتاتِ الحمضيةِ مشابه للطَلاء الكهربائي للحامضِ النحاسيِ.



شكل رقم (٤-١٧) يوضح لوح دائرة مطبوعة مصفح (مطلي) بالقصدير

مكونات الحمّامَ لتصفيح القصدير لَها الوظائفُ التاليةُ:

- Stannous sulphate : Gives the tin metal ion
- Sulphuric acid : Medium for ionic movement
- Additives : Increase the levelling of deposition and increase the brightness

تركيبات الحمّامَ لعناصر المحلول المختلفة:

- Stannous sulphate ($SnSO_4$) 25 to 30 g/l
- Sulphuric acid (H_2SO_4) 100 ml/l
- Additives
- Phenol sulphonic acid 30 g/l
- Gelatin 28 g/l
- B-napthal 1 g/l

شروط أو ظروف التشغيل المثاليةَ وهى:

- Temperature 20 to 30 °C
- Anode current density 0.5 to 1.5 A/dm^2
- Cathode current density 1.5 to 3.0 A/dm^2
- Voltage 1 to 3 volts
- Agitation Cathode rod movement, Air agitation not recommended
- Filtration Continuous
- Anode to cathode ratio 2:1
- Anode bags Polypropylene (3 to 10 micron)
- Plating rate 1 micron/minute at 2 A/dm^2
- Anode 99.99% pure tin bars
- Length Rack length minus 5 cm
- Hooks Titanium or Stainless steel (316 grade)

القصدير لَه تشطيب لامع موحّد والسطح المَطْلي يَجِبُ أَنْ يَكُون ناعمَ الملمسِ. الترسيب في الفتحات المثقبة يرجع إلى عناصر المحلول خارج الاتزان وظروف التشغيل. التحكم في مستويات الإضافاتِ وجودة التصفيح يُمْكِنُ أَنْ يُختَبرا بخليةِ الهيكلِ Hull Cell .

٤-٥-٤ الطلاء الكهربائي بسبيكةِ القصديروالرصاص (أو بمادة اللحام) Tin-Lead Alloy Plating or Solder Plating:

سبيكة القصديروالرصاص ذات النسبةِ ٦٣:٣٧ تستخدم بكثرة كتصفيح نهائي للدوائرِ المطبوعةِ. حيث إعتبرَت كمقاوم حفر قياسي لألواح PTH الاحترافية بسبب تميزها بمقاومة الحفر للأمّونيا القلويةِ، قابلية اللحام solderability الممتازة، وحياة رفٍّ كبيرةٍ للألواحِ، ورخصها نسبياً.

خصائص الطلاء بسبيكةِ القصدير والرصاص التي تَلْعبُ دوراً هاماً هى:
(i) السُمك وإتساق (انتظام) الطلاء،
(ii) مساميته، و
(iii) قابلية اللحام.
لكُلّ هذه العواملِ، يلعب تركيب السبيكةِ المرسبة دوراً مهماً. من المحتملُ ضبط، ضمن حدودِ معينة، نسبة سبيكة القصدير والرصاص tinlead في الإيداعِ أو الترسيب بواسطة ضبط نسبةِ القصدير والرصاص في المحلول، بإضافة إضافاتَ معيّنةَ وتعديل أو ضبط كثافةِ التيار.

تَتطلّبُ أكثر المواصفاتِ النسبة المئويةَ مِنْ القصدير الّتي سَتَكُونُ بين ٥٠ إلى ٧٠ بالمائة، مع ذلك مَع حمّامات التصفيح الحديثةِ ، بينما المدى الأكثر ضيقاً مثل ما بين الـ٦٠ إلى ٧٠ بالمائة مِنْ القصدير يمكن أن يَكُونُ مُودَعاً على كُلّ أجزاء اللوح، متضمنا ذلك الفتحاتِ. سبيكة القصدير والرصاص بنسبة ٦٣ بالمائة قصدير و٣٧ بالمائة رصاص هى سبيكة إنصهارية، التي تَنصهر عند درجة حرارة أقل مِنْ درجةِ الإنصهار melting point من كِل من القصدير أَو الرصاص وهذا يجْعلها سهلة لإعادة التدفقِ واللحامِ re-flow and solder . أدنى سُمك للقصدير والرصاص يَجِبُ أَنْ يَكُونَ ٨ ميكروناتَ لتُقاومَ النقش. على أية حال، هو تقليد معروفُ لإيداْع من ١٣ إلى ٢٥ ميكرونِ على الجانبِ السطحيِ.

مكونات الحمّامِ Bath ingredients :

تقريباً كُلّ المحاليل الكهربائية electrolytes لسبيكةِ القصدير والرصاص متوفرةِ حالياً ومتضمنة نظام fluoro boric acid-peptone ذو التركيزَ العاليَ. الوظائف الأساسيةَ لهذه المكوّناتِ:

a) فلوروبورات القصدير Tin fluoroborate وفلوروبورات الرصاص lead fluoroborate : تَعطي آيوناتُ معدنيةُ.

b) حامض فلوروبوريك حر Free fluoroboric acid : يَزِيدُ توصيلية الحمّامَ ويَمْنعُ إعادة تركيب الفلوروبورات fluoroborate؛ يعمل على انتاج إيداع أو ترسيب مَع البناء الحبيبي الخطي linear grain structure .

c) حامض البوريك: يَزِيدُ التوصيلُية ويَمْنعُ إعادة تركيب فلوروبورات الرصاص إلى فلوريدِ الرصاص lead fluoride .

d) الببتون Peptone : يَمْنعُ تشكيلُ بلورات شجرية dendrites أَو أشجار.

e) عامل مضافِ Additive agents : يَزِيدُ إيداعُ حبوبَ القصدير.

f) مانعات تأكسد Anti-oxidants : يَمْنعُ أكسدة القصدير من القصديروز stannous إلى القصديري stannic.

تركيب الحمام المثالي :

Tin fluoroborate equivalent to 15 to 20 g/l of metallic tin.	
Lead fluoroborate equivalent to 9 to 10 g/l of metallic lead	
Free fluoroboric acid	25 g/l
Boric acid	400 g/l
Additive and peptone	3 to 5 g/l

ظروف التشغيل الأمثل:

• Temperature	20 to 30 °C
• pH	0.5 or less
• Cathode current density	1.5 to 2 A/dm^2
• Anode to cathode ratio	1:2
• Agitation	Slow movement of the panels
• Anode	60 per cent tin and 40 per cent lead
• Anode length	minus 5 cm.

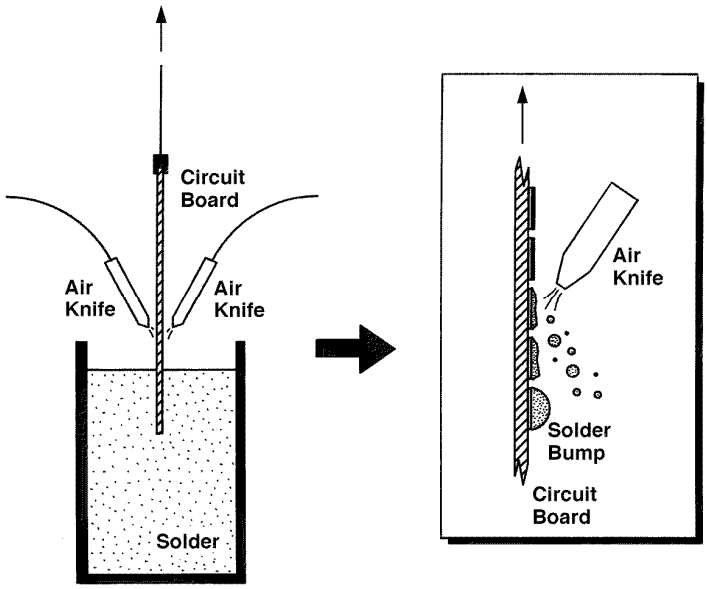
النحاس الملوثُ الأكثر جديّة في الحمّامِ. يُسبّبُ ظلاماً عند كثافاتِ التيارات المنخفضةِ، خصوصاً في الطلاء خلال الفتحاتِ، وقَدْ يَكْسو حتى القطب الموجب. المستويات القصوى الجائزةِ للنحاس ١٥ ppm.

التصفيح العام يُمْكِنُ أَنْ يفحص بإستعمال خليةِ الهيكلِ Hull Cell . يظهر هذا الإختبارِ الحاجةَ أيضاً لpeptone، المعالجة الكربونَية أَو الإضافاتَ، بالإضافة إلى حضورِ النحاسِ المُذَوَّبِ في المحلول.

الاستواء بالهواء الساخن Hot Air Levelling (HAL) :

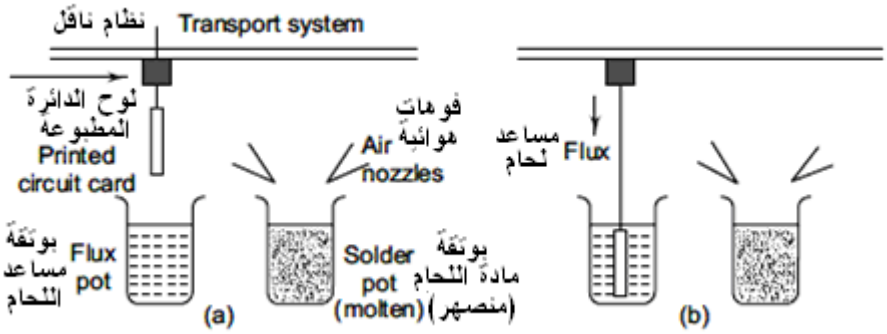
النحاس العاري على لوح الدائرة المطبوعةِ يميلُ إلى التَدَهْوُر عموماً مع الوقتِ ويؤدّي إلى ظهورِ رداءة الاستواء ويجْعلَ اللحام صعباً. في حد ذاته، الألواح النحاسية العارية مقبولة فقط للعملِ التجريبي experimental والنموذجي prototyping . ولكن للمُنتَجاتِ العالية الجودة، هناك بَعْض انواعِ الطلاء تستخدم لمْنعُ حدوثَ مثل هذه المشاكلِ. النوع الأكثر شيوعاً للطلاء تبييض أو قصدرة أو طلاء سطح المساراتِ النحاسية. هذا يتم أمّا بدلفنة القصدير roller tinning أَو الطَلاء الكهربائي electroplating . هناك عملية مُعَدَّلة للطلاء المدلفن هى عملية الاستواء بالهواءُ الساخن.

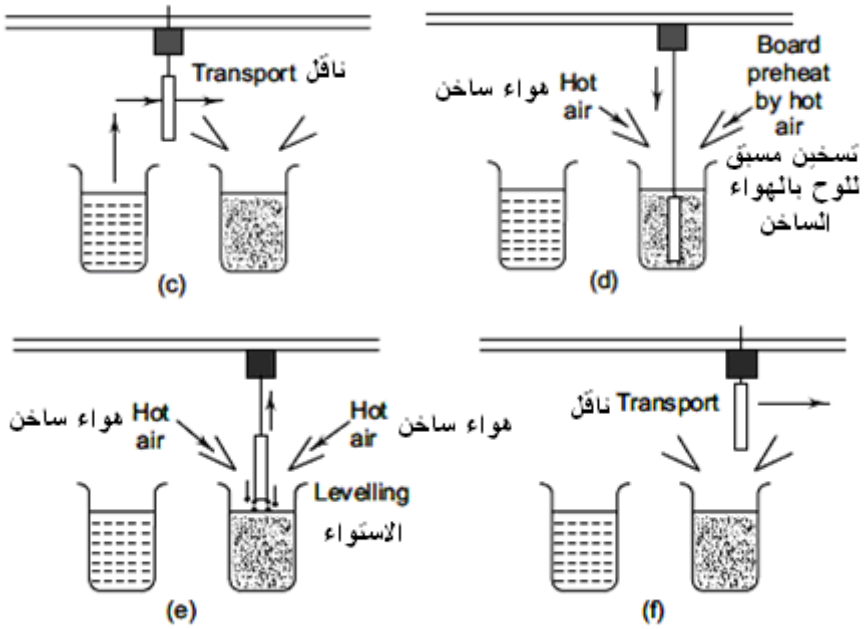
الإستِواء بالهواءِ الساخن هو عملية تطبيق طلاء رفيع من سبيكة القصدير والرصاص في الحالة الانصهارية على الجزء المكشوف على لوح الدائرة المطبوعة ، كما بالشكل رقم (٤-١٨). يَزِيدُ هذا الترسيب من قابلية اللحام solderability للوح خلال تشغيلات التجميع. مادة اللحام لها العديد من الفوائد عن أى انواع طلاء أخرى تقليدية عضوية . هذا الطلاء بمادة اللحام لَه حياةُ رفٍّ جيدةِ جداً، زمن ترطيب للحام قصيرِ أثناء التجميع وإستقرارِ ميكانيكي عالي جداً. والتشكيلَ بينِ الربط المعدني الوسيط inter-metallic bond حتى قبل تجميع لوح الدائرة المطبوعة هو خاصية فريدة لإسلوب HAL . بسبب حضورِ مادة اللحام على النحاسِ، فإن لوح الدائرة المطبوعة يُمْكِنه أَنْ يُقاومَ تشغيلات اللحام المتعدّدَة وعملياتَ فك اللحام أثناء دورةِ التجميع، بدون تأثيرِ مضادٍّ على قابلية اللحام solderability للوح. يَقدم أيضاً اسلوب HAL العديد مِنْ الفوائد في مجال تثبيت العناصر سطحياً SMD والأغلفة الرباعية ذات الخطوة الدقيقةfine pitched quad packs .



شكل رقم (٤-١٨) يوضح السكينة الهوائية أو وسيلة الاستواء بالهواء الساخن

يَتضمّنُ الإجراءُ تغطيس اللوح في اللحامِ المائعِ النقي pure molten solder ونفخُ الهواءَ الفائضَ بين سكاكين الهواء. خطواتَ إستِواء الهواءِ الساخن موضحة في الشكل رقمِ(٤-١٩). الألواحَ تغطس بشكل عمودي إلى حمّام اللحامِ. ومن ثمّ تخضع إلى تيار هواء ساخن مدفوع وهى تسحب مِنْ الحمّامِ. هذا العمليةُ تُزيلُ كُلّ اللحام الفائض، وتنظف نقاط العبور vias والفتحات تاركة سطح مستوي عالي الجودة.





شكل رقم (٤-١٩) يوضح تسلسل عملية الاستواء بالهواء الساخن :

(a) الإعداد الأساسي

(b) غمس لوح الدائرة المطبوعة في مساعد اللحام

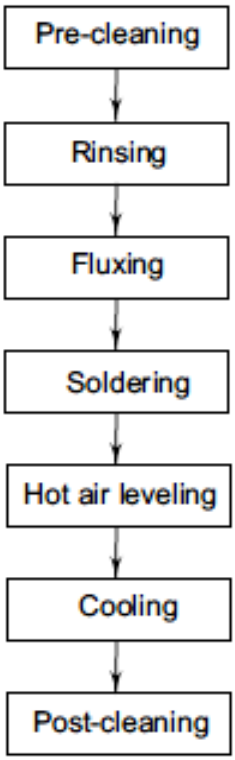
(c) رفع لوح الدائرة المطبوعة من حمام مساعد اللحام

(d) التسخين المسبق للوح الدائرة المطبوعة بالهواء الساخن

(e) غمس لوح الدائرة المطبوعة في حوض اللحام مع الاستواء بالهواء الساخن

(f) إزالة مادة اللحام الزائدة بالسكينة الهوائية

تَعتمدُ جودة ترسيب اللحامِ أساساً على نظافةِ السطحِ. لذا التنظيف المبدئي ضروري لإزالة الترسبات الزيتيةِ، وبصمات الأصابع والملوثات العضوية الأخرى التي قَدْ تكون موجودة على السطحِ النحاسي خلال الفتحاتِ. الخطواتُ المتضمنة في الإستِواء بالهواءِ الساخن هى كما هو معروض في الشكل رقمِ(٤-٢٠).



شكل رقم (٤-٢٠) يوضح نظام الاستواء بالهواء الساخن

التنظيف المبدئي يتم عموماً بإستعمال الحامض المعتدل mild acid أو إستعمال البيرسلفات persulphate، يليه عملية الشَطْف بالماءِ النظيفِ. إضافة مساعد اللحام Fluxing أمّا خارجياً أو داخلياً في ماكينةِ HAL نفسها، حيث لَها غرفةً تسخين. مساعد اللحام المستعملَ عموماً عبارة عن ماءُ قابل للذوبانُ لكي يكون من السّهلِ إزالته بعد طلاء اللحامِ. من ثم ينقل اللوح إلى قدر اللحام التي فيها تحفظ مادة اللحام عند درجة حرارة مِنْ ٢٥٠ C° إلى ٢٧٠ C° حيث يَأْخذُ فعل اللحام مكانه. طلاء اللحامِ solder coating من ثمّ تم ضبط استوائه بالهواء الساخن بالسكاكينِ الهوائية الساخنة حيث يتم تثبيت الزوايا اعتماداً على كثافة والتوزيع الجغرافي لنمط الدائرة على اللوح. يسمح بعد ذلك بتبريد الألواحَ ثم يتلى ذلك عملية تنظيف بالماء المنظّف الدافئ الذي يُزيلُ مساعد اللحام الفائض، الذي يُتْرَكُ أعلى اللوح.

في أغلب عملياتِ التنظيف، سيكون أمراً كافياً إسْتِعْمال الحامض المعتدل mild acid لتَنظيف السطحِ. لايجب استعمال المنظفات الدافئة لأنها سَتؤدّي إلى رَفْع شرائط مقبس الحافةَ وتسببَ اللحامَ أن يكون مرسباً على تصفيح الذهب لمقبس الحافةَ. البيرسلفات Persulphates مستعملة عموماً مع مواد كيمياويةِ أخرى عندما تكون السطوحِ النحاسيةِ قذرة جداً. اللوح يَجِبُ أَنْ يكُونُ من ثم مشطوف بالماء النظيف.

للإستواء بالهواءِ الساخن، وحدة وحيدة وماكينات سيور ذات إنتاج عالي متوفرة. عملياً، تتكون الماكينة من وحدةِ مساعد اللحام ، وقدر اللحامَ وسكاكينَ الهواء الساخن. يثبت اللوح أولاً إلى المشابكِ المُشتَغَلة خلال دواسة قدمِ هوائيةِ. يتم غمس الألواحَ في وحدةِ مساعد اللحام لمدة ١٥ ثانية تقريباً حيثما تغمر في قدرِ اللحامِ الساخن (الثابت عند درجة حرارة حوالي ٢٥٠ سنتيجراد) لمدة ٥ –٨ ثوان فقط. بعد طلاء اللحامِ، تسحب الألواح مِنْ قدرِ اللحامَ وتمَر من خلالِ مجموعة من السكاكين الهوائية الساخنة، حيث يكون ضغط هوائها وزاويتها مضبوطان إعتِماداً على هندسةِ اللوح. خلال تعديلِ أو ضبط سكاكينِ الهواء الساخن، فإن مادة اللحام داخل PTH بالإضافة إلى سطحِ اللوح تُصبحُ مستوية. ماكينات HAL تَبْني عموماً من الحديد المقاوم للصدأstainless steel . كُلّ المشابك الهوائية والسخانات يتم التحكم فيها بواسطة الحاكمات المنطقية المُبَرمَجةِ Programmed Logic Controllers (PLCs) .

كُلّ متعدّدات الطبقات multi-layers يَجِبُ أَنْ تَكُونَ مسخنة مبدئياً قبل الطلاء، في ١٢٠ سنتيجراد (٢٥٠ فهرنهيت) لساعة واحدة إلى ساعتين لكي نتأكد الإزالةِ الكليّةِ للرطوبةِ والغازاتِ المُحَاصَرةِ، ولضمان أن حائطِ PTH لا يتآكل نتيجة للأحتكاك أثناء تشغيل HAL.

٤-٥-٥ الطلاء الكهربائي بالنيكلِ Nickel Electroplating:

يستخدم في الغالب تصفيح النيكلِ كطلاء تحتي للمعادن الثمينةِ مثل الذهبِ ليقوم بعمل الطبقة الحاجزة لمنعِ هجرةً النحاس بالإضافة إلى زيَادَة مقاومةِ التآكل نتيجة للأحتكاك wear resistance للطلاء. وفقاً لذلك، فهو يُخفّضُ الإيداعُ الذهبيُ الأدنى الذي نحتاجه للتطبيق المُعطى.

عادة لتصفيح النيكلِ، تستخدم حمامات سلفات النيكل nickel sulphamate sulphamate بالإرتباط مع عوامل الترطيب wetting agents . سُمكَ الطلاء الطبيعيِ للنيكلِ هو ٤-٦ ميكرون. سلفات النيكل Nickel sulphamate مستعملُ كطلاء تحتي لتصفيح الفتحات الخلالية through-hole plating وعلى القمم.

تركيب الحمام المثالي للتصفيح بالنيكل:

• Nickel sulphamate	350 ml/l to 750 ml/l
• Nickel chloride	15 g/l
• Boric acid	30 g/l
• Additives	As required

ظروف التشغيل الأمثل:

• Temperature	45 – 60 °C
• pH	3.5 – 4.5
• Cathode current density	2.5 – 10 A/dm^2
• Anode	Rolled de-polarized bars or pallets
• Hooks	Titanium
• Bags	Polypropylene
• Length	Rack length minus 5 cm
• Agitation	Solution circulation through filter pump or cathode movement
• Deposition rate	4 micron plating thickness during 10 to 15 min when plating current is 25 A/ft^2

أحد أهم البارامترات المتعلق بتصفيح النيكلِ هو "الإجهادُ". هذا يُشيرُ إلى سببِ تصدع الإيداعِ أو الترسيب للمعدن. بينما يُسبّبُ كلوريدَ النيكلِ المنخفضِ تآكلِ سيىء للقطب الموجب (هبوط سريع في محتوى النيكلِ)، بينما المستوى العالي من الكلوريد يُسبّبُ المزيد من الإجهاد. ولكي يُمْنعَ هذا ، فإن pH، وكثافة التيار وحامض البوريك مِنْ الضروري الاحتفاظ بهم ضمن حدودِ معينة. ظروف تشغيل الحمّامِ وحضورِ الملوثات يُمْكِنُ أَنْ يفحصا بإختبارِ خليةِ الهيكلَ Hull Cell .

٤-٥-٦ الطلاء الكهربائي بالذهبِ Gold Electroplating:

الذهب بطبيعتهِ ناعم ولكي يُزوّدَ بالبريق المطلوبَ والصلابة المتزايدةَ، دائماً يتم خلطه مَع كمياتِ دقيقةِ مِنْ النيكلِ، أو الكوبالت cobalt أَو الانديوم indium. وهو يمتاز بالتوصيلُية الكهربائيُة الجيدُة، مقاوم جيد للحْفر الكيميائي خصائص مقاومةً التُلوّثُ. بالرغم من أن تقنيةِ الواح الدوائر المطبوعةِ المبكّرةِ إستعملتْ الذهب على نطاق واسع، ونتيجة لمشاكل اللحام والتكلفة العالية، هو الآن لا يَطْلي بالكامل على ألواح الدوائر المطبوعة. الذهب يُطْلَى فقط على منطقةِ مقبس الحافةَ ومناطقَ مختارة على ألواح الدوائر المطبوعة، كما أنه يُزوّدُ مقاومةَ تماس منخفضةِ ومقاومةِ تآكل نتيجة للأحتكاك عاليةِ wear resistance .

عادة، تصفيح الذهب لمنطقةِ مقبس الحافةَ يعتمدُ على متطلبِ الزبونَ. في الغالب ٥ ميكرون ذهب مَطْليُ بطلاء تحتي مِنْ ٤ ميكرونِ من النيكل لتوصيل الحافةِ. الماكينات الآلية للتصفيح مستعملة بسبب التحكم في السُمكِ المُحَسَّن، الإستعمال الذهبي الكفوء ومعدل الإنتاج والجودة. للتحكم في العمليةِ، محتوى الذهب ، و pH والكثافة تحفظ عند القِيَمِ القصويةِ (الأمثل). للتحكم في pH، فإن هيدروكسيد البوتاسيومِ يُستَعملُ لرَفْعه، بينما لتخفيضه تستعمل الأملاح الحامضية. التوصيلية بالمحلول محكومة بالكثافةِ، حيث يُمْكِنُ أَنْ تُعدّلَ أو تضبط بخلايا التوصيلِية conductivity cells.

الذهب المُرَسَّبُ مِنْ الحمّامِ القلوي، أوالشبه قلوي، أوالمحايد، أو الحامضي لطلاء نقاط التماس وموصلات الترددات العالية. أي تَشْكِيلة كبيرة مِنْ الحمّاماتِ متوفرة لطَلاء كلا من المعدن النقي الـ٢٤ القيراط والذهبَ المسبك أو المخلوط بكمياتِ متغيرة من المعادنِ مثل النيكلِ، والكوبالت ، والانديوم indium، الخ. ولذلك، من المحتملُ لتفصيل الإيداعِ أو الترسيب الذهبي لإحتياجات مصممِ لوح الدائرة المطبوعة. محلول الكهرباء (المنحل بالكهرباء) لتصفيحات الذهب يصنّفُ تحت أربعة أصنافِ: (i) المنحلات بالكهرباء الذهبية الحامضية، (ii) المنحلات بالكهرباء الذهبية المحايدة، (iii) المنحلات بالكهرباء الذهبية القلوية، و(iv) المنحلات بالكهرباء كبريتاتِ الذهب.

محاليل الكهرباء الذهبية الحامضية Acid Gold Electrolytes :

وتتَرَاوُح pH لها مِنْ ٣.٥ ل٤.٥ ويَحتوي نيكل أَو كوبالتَ. وهى تزوّدْ طلاءاتَ مفيدَة لشرائط تماس لوح الدائرة المطبوعة، كثيرة بالطّريقة نفسها كما بالنسبة إلى مقابس الحافةِ. سُمكَ الطلاء يُحدّدُ إلى حوالي ٥ ميكروناتِ. على أية حال، سُمك التصفيح الطبيعيِ على موصلات لوح الدائرة المطبوعة شاملاً التماسات هو ١.٢٥ –٢.٥ ميكرون. سعر (١٩٩٢) يُوضّحُ بأنّ التشطيب نيكل / ذهب على ألواح الدوائر ذات التثبيت السطحي ذات الخط الدقيق يزود القائم بتجميع اللوح بالمنافعِ الهامّةِ.

محاليل الكهرباء الذهبية المحايدة Neutral Gold Electrolytes :

حمامات تصفيح الذهب المحايدة (pH 6.00 إلى ٨.٥) تُسهّلُ توديعِ مِنْ ٩٩.٩ بالمائة طلاء صافي، عندما تشتغل عند درجاتِ حرارة بين ٣٥–٤٥ C°. هذا النوعِ من الطلاء أكثر مناسبة لمقابس الحافةِedge connectors .

محاليل الكهرباء الذهبية القلوية Alkaline Gold Electrolytes:

مَع pH في الحيز ٨.٥–١٣.٨، هذه لَيستْ شعبيةَ جداً في صناعة لوح الدائرة المطبوعة، لأن لديها تأثير ضار على النحاسِ الذي يَكْسو الألواح المدعومة laminates .

محاليل الكهرباء لكبريتاتِ الذهب Sulphate Gold Electrolytes :

وهى تسهل توديعَ أو ترسيب الذهبِ مَع نقاوة حتى٩٨.٠–٩٩.٩ بالمائة بالتوزيعِ المستويِ جداً على كامل لوح التشغيل. هذا يُؤدّي إلى توفير الذهبِ بمقدار من ٢٠–٤٠ بالمائة في حمّامِ sulfite بالمقارنة مع الحمّامِ الحامضيِ التقليديِ. على أية حال، تقع عائقها في حسّاسيتِها المتطرّفةِ إلى إختلافاتِ pH: على سبيل المثال، إذا هبطت pH إلى أقل من ٨، فإن الذهب يصبح مخفّض بسرعة.

مكونات الحمّامِ الحمضي المستعمل:

• Gold potassium cyanide	6 to 10 gm/l
• Cobalt	0.15 to 0.25 g/l
• Potassium citrate	To be added to electrolyte to maintain the density at 10 to 15Be

ظروف التشغيل للحمّامِ الحمضيِ:

• Temperature	30 – 40 °C
• pH	3.8 to 4.5
• Cathode current	0.3 to 1.5 A/dm^2
• Anode	Platinized Titanium
• Hooks	Platinized Titanium
• Agitation	Oil-free air agitation and cathode movement
• Deposit composition	99.8 or 99.7 per cent gold 0.2 to 0.3 per cent cobalt
• Deposition rate	5 micron thickness within 13 mts at current density of 1.0A/dm^2

التصفيح الذهبي تُستَعملُ الآن فقط في تلك التطبيقاتِ حيث لا بديلَ محتملُ.

عملية التصفيح الذهبيةِ في تصنيع لوح الدائرة المطبوعة أُصيبتْ بالخسارةِ المفرطةِ للتصفيح الذهبي gold plating سببه انهيار مقاوم الضوء. اقترح أندرسن (١٩٩٨) تطبيقَ تصميمِ اساليب تجارب Design of Experiments (DOE) لخَطِّ تصفيح الذهبِ الذي يساعدُ على تَمييز العواملِ المسؤولةِ وتقديم الحلول للتَغَلُّب على المشكلةَ.

٦-٤ التصفيح (الطلاء) الغير كهربائي :Electroless Plating

وهو يطلق عليه أيضاً التصفيح الكيميائي chemical أَو التصفيح ذاتي التحفيز auto-catalytic plating، وهى طريقة تصفيح غيرِ كهربائيةِ non-galvanic plating . مع تقدم تكنولوجيا التصفيح خلال الفتحة plated through-hole technology والتطوير للألواحِ المتعددةِ الطبقات، كان من الضروريُ تَزويد طبقة نحاسية على الجدار أو الحائط العازل للفتحة المثقبة أَو لإيصالْ الطبقات المختلفة على لوح الدائرة المتعددة الطبقات للحُصُول على توصيلِية كهربائيةِ خلال الفتحة

المثقبة. الطريقة الأكثر شعبية لإنْجاز هذا هو طريقة التصفيح (الطلاء) النحاسي الغير كهربائي electroless. بمجرد أن يصبح سطح الراتنجَ توصيلي، فإن التصفيح (الطلاء) الأليكتروليتي (الكهربائي) يمكن أن يستَعملَ لتَرسيب السُمكِ النحاسيِ المطلوبِ.

عمليةَ التصفيح تتم بعد ثقب الفتحات الخلالية through-holes في لوح البنية التحتية وقبل تأدية عمليةَ الحفر الكيميائي. يعتمدُ التصفيح النحاسي الغير كهربائي Electroless على العديد مِنْ العملياتِ المختلفةِ، مثل الكيمياء والأجهزة والمواد. والمسار الأمثل synergy لهذه العناصرِ يحدد جودة الترابطِ والأداءِ النهائيِ للوح.

تتشابه آليةَ التصفيح (الطلاء) الغير كهربائي electroless مع آلية الطَلاء (التصفيح) الكهربائي لكن الألكتروناتَ سوف يتم اكتسابها مِنْ عملية الإختزال الكيميائيةِ chemical reduction process . في الطَلاء الكهربائي، الألكترونات مكتسبة مِنْ مصدر التيارِ الكهربائيِ لتَحويل (لإختزال) الآيونات المعدنية metal ions إلى الحالةِ المعدنيةِ metallic state . لكن في حالة التصفيح الغير كهربائي electroless، لا يستخدم مصدر طاقة خارجية.

تعتبر عمليةَ التصفيح الغير كهربائي electroless من العمليات البسيطةُ جداً. يقوم عامل الاختزال الكيميائي بإختزال الآيوناتَ المعدنيةَ في المحلول إلى ذرّاتِ معدنيةِ محايدةِ للتوديعِ أو للترسيب. بهذه العمليةِ، يحدث التصعيد المستمر للطلاء المعدنيِ على لوح البنية التحتية substrate وذلك بالغمرِ البسيطِ في المحلول المائي المناسب. عامل الإختزال الكيميائي في المحلول يعمل على التغذية بالإلكتروناتِ للتفاعل. لكن التفاعل يَحْدثُ فقط على السطح الحفاز catalytic surface.

النحاس الغير كهربائي Electroless هو عمليةُ تصفيح بالغمرِ ذاتية التحفيز autocatalytic في التحليل الكهربائي أَو الطَلاء الكهربائي الذي يَستغنى عن الحاجةِ لتَزويد الربطِ الكهربائيِ بين الطبقاتِ الخارجيةِ والداخليةِ للوح الدائرة المطبوعة. السطح الحفاز catalytic surface هو السطح الذي يتواجد فيه معدن نبيل مثل البالاديوم palladium حيث يسبب بدء عمليةِ الاختزال

الكيميائيةِ. عملياً، يتم تفعيل لوح الدائرة المطبوعة المثقبة بالتغطية بفيلم رفيع من البالاديومِ بواسطة أى منشّطِ. ومن ثمّ يغَطسَ في حمام النحاسِ.

تُودعُ أو ترسب العمليةُ ذاتية التحفيز autocatalytic المعدن بدون إستعمال تيارِ كهربائيٍ. يزود النحاس طبقة معدنية موصّلة تحتاج لعمليةِ الطَلاء الكهربائي. كيمياء اختزال النحاسِ في التصفيح الغير كهربائي electroless يصبح معقد بالأحرى. على أية حال، تُلخّصُ المعادلةَ التاليةَ إستعمال عمليةِ التوديعِ أو الترسيب للفورمالدهيد formaldehyde كعامل إختزال.

$$CuSO_4 + 2\,HCHO + 4\,NaOH \xrightarrow{Pd} Cu + 2\,HCO_2Na + H_2 + 2H_2O + Na_2\,SO_4$$

يتضمّنُ هذا التصفيح الذاتي التحفيز autocatalytic بالضرورة إستعمال آيوناتِ نحاس محلول مائي، copper complexants، فورمالدهيد formaldehyde، هيدروكسيد صوديومِ sodium hydroxide ومثبتاتِ stabilizers. هؤلاء المنتخبات ووظائفِها توضح في الجدول رقم (٤-١).

جدول رقم (٤-١) يوضح مكونات حمام الطلاء الكيميائي ووظائفها

	Constituent	Function
Copper salt	$CuSO_4.5H_2O$	Supplies copper
Reducing agent	HCHO	$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu^{o}$
Complexer	EDTA, titrates, Rochelle salt	Holds Cu^{2+} in solution at high pH, controls rate
pH controller	NaOH	Controls pH rate, 11.5–12.5 optimum for HCHO reduction
Additives	NaCN, metals, S, N, CN organics	Stabilize, brighten, speed rate strengthen

أوضّحُ كيلير (١٩٩٠) أنه في حالة ألواح الدوائر المطبوعة الثنائية الجانب المصنّعةِ بشكل مطروح، يطبّقُ التصفيح الغير كهربائي electroless للنحاس على حوائط الفتحاتِ المَثقبة لتحقيق وسيلة الربطِ الكهربائيِ بين قمةِ وقاعِ لوح الدائرة المطبوعة. بينما في حالة متعدّدة الطبقات، فإن برميل

النحاس المَطْلي (طبقة الطلاء على جدران الفتحة) في الفتحةُ لا يربط فقط الطبقتين الخارجيتينَ، لكن أيضاً يربط دوائرَ على الطبقاتِ الداخليةِ. التصفيح الأليكتروليتي Electrolytic plating يتم تنفيذه على هذه الطبقةِ الإبتدائية الموصّلة.

على الألواح المصنعة بالاضافة additively، بالأضافة إلى طَلاء حوائط الفتحاتِ المَثقبة وفتحات العبور vias، يَخْدمُ النحاسُ الغير كهربائي electroless تَشكيل أنماطِ الدائرةِ الأساسيةِ على لوح البنية التحتية العاري bare substrate . في معالجة نصفِ المضافِ semi-processing additive، بِالتَّبَايُن، نجد فقط الطبقة الأولية للنحاسِ مُودَعةُ مِنْ حمّامِ النحاس الغير كهربائي electroless وبقيّة المعدنِ النحاسي تصبح مرسبة على اللوح بشكل الكتروليتي electrolytically .

٤-٦-١ خطوات عملية الطلاء الغير كهربائي (الكيميائي) Electroless Plating Process:

إن إجراءَ تصفيح النحاس الغير كهربائي electroless معقّد. تتغير الكيمياء المضبوطة وعملية التصفيح النحاسية الغير كهربائية نتيجة لمقاس ونوعِ لوح البنية التحتية وحجم طلبات الطاقة الإنتاجيةِ. هناك عدد مِنْ موردي المحاليل الكيميائيةِ وأجهزةِ التصفيح الغير كهربائية electroless التي تصنع المُنتَجاتَ المختلفةَ لإنْجاز المزيد أو الاقل لنفس العمليةِ. لذا، لضمان أن التصفيح النحاسي الغير كهربائي electroless يتم بشكل صحيح، فإن الصانع يَجِبُ أَنْ يَفْهمَ تعقيداتَ الكيماويات وأجهزةِ التصفيح معاً مع مادّةِ لوح البنية التحتية المستعملة في لوح الدائرة المطبوعة. عُموماً، العملياتَ أو التشغيلات التاليةَ مُنَفَّذة في تسلسل تعاقبي لإكمال التصفيح الغير كهربائي electroless الكامل على لوح دائرة مطبوعة:

- ازالة رايش الفتحات على اللوح المدعوم ؛
- تنظيف اللوح المدعوم ؛
- التشطيف بالماءِ؛
- الحفر الدقيق أَو الحْفرُ الخلفي Micro-etch or etch back للألواحَ متعددةَ الطبقات؛
- التشطيف بالماءِ؛

- الغمس أو الغمر في حامضِ الكبريتيك بتركيز ٢٠ بالمائة؛
- التشطيف بالماءِ؛
- الغمس في منشط Sensitizer؛
- معالجة المنشّط/المحفّزِ؛
- التشطيف بالماءِ؛
- غمس المعجّلِ؛
- التشطيف بالماءِ؛
- التصفيح الغير كهربائي Electroless (تصفيح نحاسي غير كهربائي)؛ و
- التشطيف الحامضي.

إزالة الرايش من محيط الفتحات Deburring:

تنظف أسطحَ الألواح المَثقبة بإستعمال ماكينة إزالة الرايش من محيط الفتحات deburring وفرشاة بدرجة ٣٢٠ من كربيدِ سيليكونِ.

تنظيف اللوح المدعوم Laminate Cleaning :

في هذه الخطوةِ، تنظف الثقوب الخلالية المثقبة بمحلول تنظيف قلويٍ، لإزالة أيّ غبار أَو بقايا. هذا سَيزيلُ أيضاً أيّ بصمات أصابع، وزيوت، وطبقات الدهن وبقايا الابوكسيepoxy. يَحتوي الحمّامُ مواد كيمياويةَ قلويةَ مُخْتَلَطةَ. درجةَ حرارة الحمّامِ يتم حفظها عند درجات حرارة ٦٠ –٧٠ سنتيجراد وزمن الغمس أو الغمر حوالي عشرون دقيقةَ.

التشطيف بالماءِ Water Rinse :

بعد كُلّ خطوة في العمليةِ، يتم شطف لوح البنية التحتية لضمان عدم انتقال أى من المواد الكيمياويةِ إلى الحمّامِ التالي. تَعتمدُ كُلّ خطوة على التفاعل الكيمياوي خلالها وإمكانية تلوث التفاعل في الحمّامِ الآخرِ.

النقش الدقيق Micro-etching :

هذا يتم بأحماض فوق الكبريتات persulphate acids، وحمض الكبريتيك sulphuric acid وفوق أوكسيد الهيدروجينَ hydrogen peroxide والمثبتات stabilizers. حيث تستعملُ للنقش الدقيقِ أَو تنظيف الاسطح النحاسية المثبتة على أسطح اللوح المدعوم. في هذه العمليةِ، بَعْض كميةِ من النحاسِ المُزَال مِنْ الأسطح النحاسيةِ تُصبحُ مُذَوَّبةً في المحلول المستخدم لجعل السطح موحّد uniform surface . وتنحصر أهميةَ النقش الدقيقِ في التأكيد على توحيد سطح المعدنِ وزيادة قوة الإلتِصاق بين الطبقاتِ النحاسيةِ بواسطة زيادة خشونة الاسطح. وهذا يؤدي إلى التخلص مِنْ أيّ ملوث أيضاً قَدْ يعيق الأكسدةَ. بينما طريقةُ النقش الخلفيةُ مستعملةُ فقط لمعالجة الألواح المتعددة الطبقات ذات الفتحات الخلالية المطلية PTH لتَنظيف حوائط الفتحةَ.

الغمس الحمضي Acid Dip :

تعمل عملية غمس اللوح في حامضَ الكبريتيك على التخلص من أيّ بقايا ناتجة مِنْ عمليةِ النقش الدقيق. إذا تم غمس لوح البنية التحتية في حامضَ الكبريتيك، فإنه يجب أنْ يُشْطَفَ قبل مرحلة قبل التحفيز pre-catalyst stage. النسبة عشرون بالمائة من حامض الكبريتيك مستعملة في عمليةِ الغمس.

الغمس في مستثير الحفز Sensitizer:

هى المرحلةُ قَبْلَ التحفّيزَ pre-catalyst stage، التي تهيّئُ لوح البنية التحتية للخطوة القادمةِ أو التالية، وبمعنى آخر: التحفيز catalyzation. هذا الحمّام هو عبارة عن مجموعة من الملحِ والحامضِ، وهى خَلِيْط من كلوريدِ استانوس stannous chloride وحامض الهيدروكلوريك hydrochloric. يُمْكِنُ أَنْ يَعْملَ الحمّام أيضاً كسخان مبدئي لمرحلةِ المنشّطَ.

منشط معالجة المحفّزِ Activator Catalyst-treatment :

المنشّط / المحفّز هو عملية المعالجةِ السطحيّةِ التي تَجْعلُ أسطح لوح البنية التحتية وحوائط الفتحةِ مطيعةِ إلى النحاس. في هذا، يتم خلط الـ sensitizer والمنشّط في حمّام للحصول على محلول محفز مخلوط. المحفّز المُخْتَلَط يُنتجُ فيلم محفز مِنْ البالاديومِ. يتواجد الفيلمَ المحفز أو المساعد

catalytic film فقط على سطحِ العازل في الفتحات (راتنج resin وحشو filler) لكن ورق النحاسَ الرقيق على سطح اللوح المدعوم يظل غير منشط. يُحسّنُ فيلمُ البالاديومِ الرفيع، الوسط اللاصق، بين النحاس الأساسي والنحاس المَطْلي.

تَتضمّنُ خطوةُ التَحسيس sensitizing step غمرَ اللوح في أى محلول حمضيٍ (sensitizer) يحتوي آيونات ستانيوس stannous، التي تمتص بسطحِ الراتنجِ. تختزل آيوناتُ استانيوس stannous آيون البالاديوم وتكون آيونات استانيوس stannous مؤكسدة إلى آيوناتِ استانيك stannic طبقاً لتفاعل الاختزال. يتم ازالة القصدير في الخطوة التالية، تاركة طبقة البالاديومَ جاهزة للتوديعِ أو الترسيب النحاسيٍ.

درجةَ الحرارة في خزان المنشّطِ/المحفّزِ activator/catalyst مهمةُ جداً. تستخدم مضخّة هوائية في هذا الحمّام لتَهَيّئُج المحلول لخَلْق درجةَ حرارة متساوية في كافة أنحاء الحمّامِ. بسبب عدمِ ثبات هذا الحمّامِ، اللوح يجب أنْ يشْطَفَ كليَّةً حتى لا تُلوّثُ حمام المعجّل/ما بَعْدَ المعجّل. عموماً، يخضع لوح الدائرة المطبوعة إلى دورتى تشطيفِ.

غمس أو غمر المعجّلِ Accelerator Dip :

المعجّل هو حامض أَو قلوي قوي ووظيفته هو ازالة القصدير الصمغي مِنْ حمّامِ المنشّطَ. بقايا هذا الحمّامِ يُمْكِنُها أَنْ تبطل مفعول حمّامَ التصفيح النحاسي الغير كهربائي electroless، ولذا فإن الشَطْف مهمُ جداً مرة ثانيةً في هذه المرحلة.

حمّامِ الغير كهربائي Electroless Bath:

النحاسَ يتم طلاؤه على الفتحاتِ المثقبة وسطحِ لوح البنية التحتية في حمام النحاس الغير كهربائي electroless copper bath . هذا يُمْكِنُ أَنْ يتم كعملية مطروحة subtractive أَو عملية مضافة additive process . العملية المطروحة تَتضمّنُ تصفيح لوح البنية التحتية بالنحاسِ الموصّلِ وبعد ذلك يُعرّضُه إلى التصفيح الأليكتروليتي. ثمّ يتم انشاء نمط الدائرةِ على لوح البنية التحتية بواسطة الإخْفاء masking والنقش etching .

في عمليةِ المضافَ additive process، يتعرض لوح البنية التحتية إلى عملية طلاء بالنحاسِ مرة واحدة. عملية المضاف تُمعدنُ لوح البنية التحتية خلال الفتحاتِ ونمطِ مجموعةَ الدوائر في نفس الوقت، بذلك يسقط الحاجةَ للطَلاء الكهربائي. في الصناعةِ يتم الدفع للكثافةِ العاليةِ لألواح الدوائر المطبوعة، وإستعمال التصفيح المضاف additive plating يظل في التصاعد. هذا لأن عمليةَ المضافَ يُمْكِنُ أَنْ تُنتجَ الخطوطَ الأدقَ المطلوبة لتكنولوجيا التثبيت السطحي بالمقارنة مع الألواحِ المنتجة بإستعمال عمليةِ النقش القياسيةِ. السبب الآخر لِماذا يصبح التصفيح المضاف أكثر شعبية وذلك يرجع إلى قدرتُه على تعدين نسبة عالية للطول والعرضِ aspect ratio للفتحات بشكل موحّد السمك.

حمّامات التصفيح الغير كهربائي بالنحاس هى أحد صنفين: (i) درجة حرارة الغرفةِ Room temperature، و (ii) المحاليل الساخنة Hot solutions .

التركيب المثالي لحمّام درجةِ حرارة الغرفةِ كالتّالي:

• Copper sulphate	5 to 10 g/l
• Sodium potassium tartrate	40 to 50 g/l
• Formaldehyde (37per cent)	10 to 20 ml/l
• Sodium hydroxide	10 to 15 gl/l
• Sodium carbonate	5 g/l
• Potassium cyanide	1 to 10 ppm
• Wetting agent	0.5 ml/l

ما يلي هو عبارة عن بارامتراتُ التشغيل المثاليةِ لحمّامِ درجةِ حرارة الغرفةَ:

• Temperature	15 to 30 °C
• pH	11 to 13
• Deposition/hour	1 to 1.6 micron

ظـروف التشـغيل هـذه، تسـاعد لإنْجـاز توديـعِ أو ترسـيب طبقـةً نحاسـيةً رفيعـة، كافيـة للتصـفيح الأليكتروليتي اللاحق، في غضون ١٥–٣٠ من الدقائق.

حمّام درجةِ حرارة الغرفةَ لَيسَ مناسبَ لعمليةِ المضافَ لأن معدل توديعِه أو ترسيبه بطيئ جداً وحجم التحميل عبارة عن 1 to 1.2 dm2/hour .

المحاليل الساخنة مستندة على مثبّتِ EDTA، حيث أنه copper complexing أَو chelating agent. هكذا يُثبّتُ الحمّامَ حتى عند درجاتِ الحرارة الأعلى بكثير عن درجةِ الحرارة البيئيةِ. ما يلي عبارة عن صياغة مثالية لمحلول التصفيح الغير كهربائي electroless الساخن:

• $CuSO_4 – 5H_2O$	5 to 10 g/l
• EDTA [ethylene diamine tetra acetate]	5 to 25 g/l
• Formaldehyde	10 to 20 ml/l
• Sodium hydroxide	10 to 20 g/l
• Copper cyanide	1 to 10 ppm
• Stabilizer [dimethyl poly siloxane]	200 ppm
• Wetting agent	0.5 ml/l

شروطَ التشغيل المثاليةَ لحمّاماتِ درجةِ الحرارة الساخنة:

• Temperature	35 to 70 °C
• pH	11 to 12
• Deposition/hour	3 to 8 microns

فـي هـذه العمليـةِ، يزيـدُ معـدل التصـفيح بفعـل درجـةِ الحـرارة وبالنحـاسِ وبمحتـوى الفورمالدهيـد formaldehyde، بينما EDTA وسيانيد النحاس cyanide copper لَهُما التأثيرُ المعاكسُ. الحمّامات عالية السرعة أكثر حسّاسية إلى الملوثات وأقل استقراراً. لذا، تتطلب التحكم بطريقة أكثرَ تكراراً والتعديل والضبط لتركيباتها.

الحمّامات الساخنة مستعملة في الغالب لعمليةِ المضافَ additive process . أي موصل ٢٥ ميكرون (١ mil) يُمْكِنُ أَنْ يَكُونَ عادة مبني في ٦-١٢ ساعات.

كلما استخدم الحمّام مراراً وتكراراً، تَتغيّرُ البارامتراتَ الكيميائيةَ مع الزمن. وهذا يُغيّرُ من ديناميكا النحاسِ. البارامترات الكيميائية للحمّامِ يجب أنْ تُراقبَ مباشرةً لأنها إذا كانت خارجِ الاتزان، فإن جودة التصفيح سَتَعاني من العيوب. هذا يُمْكِنُ أَنْ يؤدّي إلى تغطيةِ غير كافيةِ مِنْ النحاسِ (فراغات)، وتَصدِّع لمادّةِ التصفيح أَو تقشير لمادّةِ التصفيح بعيداً عن حائطِ الفتحةَ.

التشطيف الحمضي Acid Rinse :

بعد حمّامِ النحاس الغير كهربائي، يشطف اللوح في حامض كبريتي أَو فوسفوري sulphuric or phosphoric acid لتَحييد أيّ محلول كاوي caustic solution الذي قَدْ يَبْقى على لوح التشغيل panel . من ثم يوضع اللوح في حمام التخلص من الشوائب antitarnish bath لكي يَمْنعَ النحاسَ المُودَعَ حديثاً مِنْ الإكْسدة. تالياً، يمكن أن يحك ألواح البنية التحتية الغير كهربائية وتُخضَعَ إلى عملية تصفيح نحاسية كاذبةِ .

التصفيح الغير كهربائي electroless الناجح مُحدَّد بسُمكِ النحاسِ ويَلتصق بحوائط الفتحةَ وأسطح ألواح البنية التحتية بشكل جيد. البارامترات الأكثر أهميةً التي تُؤثّرُ على جودة التصفيح هى الكيمياء وهياجَ الحمّامِ ودرجةِ الحرارة. تصفيح النحاس الغير كهربائي Electroless حيوي لأداء لوح الدائرة المطبوعة متعددة الطبقات. بغض النظر عن سواء أن تم التصفيح بشكل مطروح subtractively أَو بشكل مضاف additively، فإن التحكم التام للعملية يجب أنْ يبقي لضمان التصفيح الموحّد أو المنتظم السُمك.

خطوط التصفيح الآليةِ ضرورية لإنتاجِ الكميات الكبيرِة لضمان سلامةَ ألواح الدوائر المطبوعة. في هذه الماكينات، من المحتملُ للإبْقاء على الإتساقِ مِن قِبل المراقبة بشكل مستمر وبارامتراتِ التحكم مثل درجةِ الحرارة، تركيزات المحاليل ونشاطِ الحمّامِ. في التشغيلات الأصغرِ، حيث أنَّ الطاقة الإنتاجية العالية لَيست مطلوبة، فإن خطوط التصفيح اليدوي يُمْكِنُ أَنْ تستخدم.

٤-٦-٢ الطلاء الغير كهربي بالنيكلِ
Electroless Nickel Plating:

مثل ما هو متبع في تصفيح (طلاء) النحاس الغير كهربائي electroless copper plating، يمكن أيضاً ترسيب النيكل على لوح البنية التحتية باستخدام الطريقة الغير كهربائية electroless method . درجةَ حرارة الحمّامِ عاليةُ ويُمْكِنُ أَنْ تصل إلى ٩٠ سنتيجراد بينما مدى pH سَيَكُونُ مِنْ ٨ إلى ١٠. هيبوفوسفات (تحت فوسفات) الصوديوم Sodium hypophosphite مستعملُ كعاملَ الإختزال ويضاف هيدروكسيد الأمونيومَ ammonium hydroxide لضبط pH. تركيبَ الحمّامِ المثاليِ يتضح فيما يلي:

Alkaline Nickel Electroless Bath [Typical Values]

• Nickel chloride	30 g/l
• Sodium hypophosphite	10 g/l
• Sodium citrate	100 g/l
• Ammonium chloride	50 g/l
• pH	8 to 10
• Temperature	90 +1 °C

تصفيح النيكلِ الغير كهربائي Electroless مستعملةُ في عمليةِ المضافَ.

٤-٦-٣ الطلاء الغير كهربائي بالذهب
Electroless Gold Plating:

تصفيح الذهب الغير كهربائي أفضل مِنْ تصفيح الذهب بالغمس immersion gold plating. كما في تصفيح الذهب الغير كهربائي، تحت فوسفات الصوديوم sodium hypophosphite مستعملُ كعامل اختزال وسيترات الصوديومَ sodium citrate كعامل تعقيد complexing agent . درجة الحرارة الحمّامِ ٩٥ إلى ٩٠ C° مَع مدى pH مِنْ ٧ إلى ٨. تركيبَ الحمّامِ المثاليِ موضح فيما يلي:

• Potassium gold cyanide	2 g/l
• Sodium citrate	50 g/l
• Ammonium chloride	75 g/l
• Sodium hypophosphite	10 g/l
• pH	7 to 7.5
• Temperature	90–95 °C

هذه العمليةِ تُستَعملُ لطَلاء قطاع مقبس حافةَ لوح الدائرة المطبوعة على عملية مضافِ كاملة.

الذهب يعتبر بديلُ غاليُ عن طرقِ التصفيح السطحيّةِ الأخرى. بينما لَهُ فوائد هامة في العديد مِنْ التطبيقاتِ، هناك بَعْض التقييدات لفوائده العامّةِ. لَيسَ أقلّ مِنْ عوائقِ الذهبِ بأنّه إذا لمْ يكن محكوم بطريقة مناسبة فإن معدنَ الذهب في نقطة اللحام يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى هشاشة embrittlement وحالات انهيار مبكّرة. لذا، متى اعتبر الذهب ، فإنه يجب أنْ يُعطي كل الاعتبارات التحذيرية. وقد اشارات بعض التقارير (١٩٩٥) بأنّه عندما يتم التحكم على عملية التصفيح للذهب على وسائد لوح الدائرة المطبوعةِ فإن هذا يعطي حمايةَ لقابلية اللحام solderability فعّالة جداً ولَيستْ ضارةَ لنقاط اللحام.

٧-٤ التصفيح (الطلاء) بالغمس Immersion Plating:

التصفيح بالغمس هى التكنولوجيا الأسهلُ التي فيها يتم توديعُ أو ترسيب الغطاء المعدني على لوح البنية التحتية (اللوح المدعوم) حيث يحْدثُ هذا بواسطة التبديلِ الكيميائيِ مِنْ محَلولّ الملحِ لمعدنِ التغطية. يختزل معدنُ لوح البنية التحتية الذرّاتَ مِنْ حالتِها الأيونيةِ في المحَلولِّ.

بالرغم من أن هذه الطريقةِ لا تَتطلّبُ تكلفةَ كبيرةَ ولَها قدرة جيدة للإيداْع أو الترسيب، إلا أنها تسْمحُ فقط لسُمكَ محدد للتوديعِ أو للترسيب. هذا لأنه حالما كان معدن لوح البنية التحتية قد تم تغطيته

بالكامل بواسطة الترسيب، فإن التفاعل يتباطيء ويقل إلى المعدل الذي عنده معدن لوح البنية التحتية متوفرُ في توقفاتِ discontinuities أو مساماتِ pores التغطية coating. السمك المحدود يقدم الحماية للمدى القريبِ فقط. لذا، فإن التصفيح بالغمس يعْمَلُ فقط حيث التجميع الفوري أو المباشر للمكوّنات المُخَطَّط لها. التصفيح بالغمس ينفّذُ عادة مَع معدنين فقط للتغطية. وهما القصدير وسبائكه، والذهب.

تُطلى ألواح الطبع والحْفُر بالقصدير وذلك بغَمْر اللوح في محلول القصدرة tinning solution ويرسب معدن القصدير على المعدنِ النحاسيِ. كميةَ النحاسِ المذوّب في المحَلولِّ تكون مساوية لترسيب القصدير على لوح الدائرة المطبوعة. السُمكُ المثاليُ المرسب كل سّاعة هو ٣ ميكرون أَو أقل. أي محلول قصدير مثاليٍ لَهُ التركيبُ التاليُ:

• Stannous sulphate	5-8 g/l
• Thiourea [CS $(NH_2)_2$]	70-80 gms/l
• Sulphuric acid	10-15 ml/l
• Bath working temp.	30 °C
• Immersion time	5 to 20 mins

النحاس الذي عليه سَيودَعُ القصدير يعمل على تكوين خلية التحليل الكهربائي electrolytic cell. الجهد عند القطب الكهربائي الذي يَوجِدُ بسبب التأيّنِ يسمى جهد القطب الكهربائي electrode potential. التفاعل الذي يَحْدثُ في خزان الغمر أو الغمس هو:

$$Cu + Sn^{++} \longrightarrow Sn^{+} Cu^{++}$$

Cu^{++} و Sn^{++} هى آيوناتَ معدنيةَ مشحونة إيجابياً، بسبب نقص ألكترونين. جهد القطب الكهربائي للنحاسِ يُمْكِنُ أَنْ نجْعَله أكثر سلبية بإضافة عامل تعقيد complexing في محلول القصدير. تستخدم الثيوريا Thiourea كعامل تعقيد complexing الذي يُشكّلُ أيضاً العقدَ المستقرّةَ stable complexes.

التصفيح بالغمس في الذهبِ: هذا يعطي فائدةً في أن التغطية بالذهب نسبياً خالية من المسامات free pores. الصيغة المثالية للغمس في الذهب يُمْكِنُ أَنْ تؤدي إلى حوالي ٠.٠٢٥ ميكرون ترسيب في نصف السّاعة.

٤-٨ المشاكل العامة في التصفيح

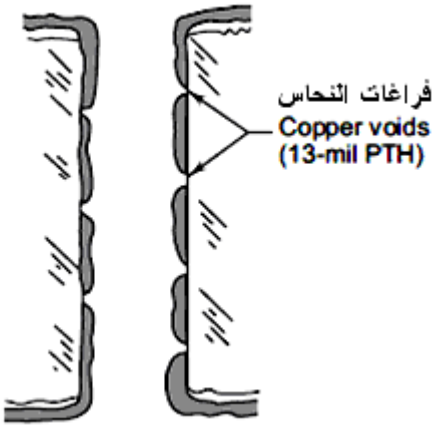
إذا لم تحفظ بارامتراتِ العمليةَ بشكل صحيح، فإن هذا سَيُؤدّي إلى تصفيح الجودة الرديئةِ.
المشاكل التي قَدْ تَظْهرُ بعد التصفيح هى:

a) قدرة رَمي رديئة Poor throwing power؛
b) قابلية لحام رديئة Poor solderability؛
c) تآكل القطب الموجبِ بشكل غير مناسب؛
d) عيوب سطحيّة [حُفَر وفراغات وثقوب دبوسية]؛
e) عمر الحمّامِ؛ و
f) إيداعات أو ترسيبات يعوزها البريق.

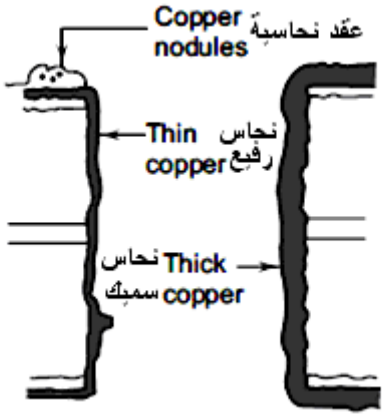
٤-٩ العيوب الخاصة بالتصفيح

٤-٩-١ الفراغات Voids

إذا لم تكن الفتحاتِ ثُقبت ونظّفت بشكل صحيح أثناء التصفيح الغير كهربائي electroless، فإن الغازات أَو المواد الكيمياوية العضوية قد تحاصر أَو تتجمع في حوائط الفتحةَ. فعندما تتعرض الألواح للحام الموجي أَو التسخين المبدئي، تَهْربُ المواد الكيمياويةَ أَو الغازاتَ المُحَاصَرةَ بالضغطِ العاليِ وتسبّبَ عدم استمرارية أَو شقوقَ على حوائط الفتحةَ. وهذا يسمى الفراغاتَ. الشكل رقم (٤-٢١) يوضح مقطع عرضي عمودي لـ PTH موضحاً ذلك الفراغات النحاسية.



شكل رقم (٤-٢١) يوضح قطاع رأسي لفتحة خلالية مطلية الجدران توضح الفراغات النحاسية



شكل رقم (٤-٢٢) يوضح قطاع رأسي لفتحة خلالية مطلية الجدران توضح طلاء النحاس السميك والرفيع الغير مستوي. تظهر أيضاً القلاقل نتيجة للتلوث بالجزيئات.

٤-٩-٢ فتحة منتفخة Blow Holes

أثناء التصفيح وصناعة القشرة النحاسية، بَعْض الهواءِ يُمْكِنُ أَنْ يصبحَ مُحَاصَراً بين طبقات النحاسِ أَو بين النحاسِ ولوح البنية التحتية. يَخْرجُ هذا الهواءِ متى خضع اللوح إلى المستوى العالي من درجات الحرارة مثل في عمليةِ اللحام. هذا يُؤدّي إلى الشقوقِ في نمطِ التصفيح، الذي يَسبب انتفاخ الفتحاتِ. تَعطي الفتحات الصغيرةُ أيضاً الفتحاتِ المنتفخة.

٤-٩-٣ انفجارات الغازات Out gassing

الثقوبِ الصغيرة أو الدبوسية أَو ' الإنفجارات البركانية التي تحدث أثناء دَمْج سطحِ مع سبيكة القصدير والرصاص. هذا يتضح في الشكل رقمِ (٤-٢٢). حيث يسبب هذا ترسيب مشارك مِنْ الإضافاتِ العضويةِ أثناء الطَلاء الكهربائي لسبيكة القصدير والرصاص. هذا يصحح بمعالجةِ كربونِ الدفعةِ batch carbon treatment

٤-١٠ تكنولوجيات التصفيح (الطلاء) الخاصّةِ

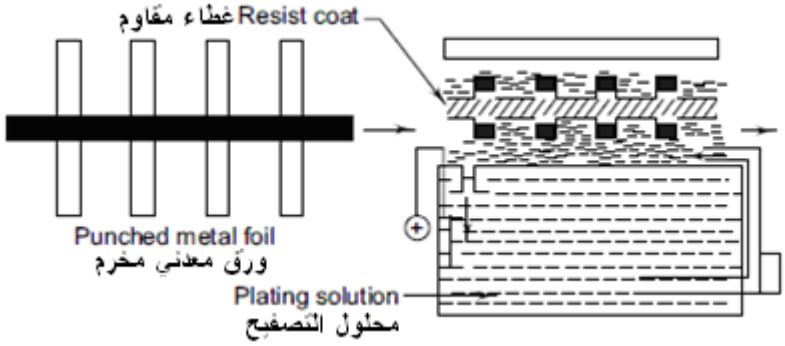
٤-١٠-١ تصفيح الثقوب الخلالية Through-hole Plating

هناك طرق مُخْتَلِفة لتَأسيس سطح قابل للطَلاء الكهربائي على حوائط الفتحةِ المثقبة خلال لوح البنية التحتية. وهو معروف في الصناعةِ بتنشيط حائط الثقب holewall-activation، هذا الإجراءِ في إنتاجُ الدوائرِ المطبوعةِ التجاريةِ يتطلب خزانات عمليات متعدّدةً، كُلّ واحد منهم بمتطلبات تحكم وأداء معينين . هذا الإجراءِ مطلوبُ كنتيجة لعمليةِ التثقيب. كلما قطعت البنطة طريقها خلال ورق النحاس الدقيق ونفذت للوح البنية التحتية، فإن درجة الحرارة الناتجة من جراء ذلك تعمل على صهر الراتنج الذي يكون مصفوفة مركب العازل في أغلب الالواح المدعومة. الراتنج المنصهر يدفع لأعلى الفتحة مع بقايا الثقب ، حيث يعطي لطخ على حوائط الفتحة المكشوفة على الورق النحاسي الرقيق . وهذا قد يُفسدُ السطحَ عملياً للطَلاء الكهربائي اللاحقِ. ذَوَبان الراتنجِ أيضاً يترك وراءه فتحة مزجّجة (زجاجية) حرارياً خلال لوح البنية التحتية التي تَعْرضُ الإلتصاقَ السيّئَ إلى أكثر مواد التنشيطِ. هذا يَتطلّبُ تطويرَ مثل هذه التقنياتِ كالتَلْطيخ وكيميائيات الحفر العكسي .

الطريقة التي تعتبر أكثرُ مناسبة لإحتياجاتِ لوح الدائرة المطبوعة النموذجي تَتضمّنُ إستعمالَ الحبر ذو اللزوجةِ المنخفضةِ الذي يُعدّ خصيصاً لتَكوين إلتصاق عالي، وطلاء ذو توصيلية عالية داخل حائطِ لكُلّ فتحة خلالية. بدلاً مِنْ المعالجةِ الكيميائيةِ المتعدّدةِ ، خطوة تطبيقِ وحيدةِ، تتلى بعلاج حراري، سَيُؤدّي إلى فيلم مستمر على داخل كُلّ حوائط الفتحةَ التي يُمْكِنُ أَنْ تُطْلَى كهربياً مباشرة بدون معالجة أخرى. إنّ الحبرَ مؤسس على راتنج الذي يعتبر جوهرياً لاصق عدواني جداً ويَلتصق بِسهولة إلى حائط الفتحة الأكثر صقلاً بالحرارة، لذا يتم اسقاط الحفر العكسي etch-back .

٤-١٠-٢ التصفيح الإنتقائي بنظام بكرة لبكرة Reel-to-Reel Selective Plating:

الأطراف والاطراف الدبوسية للعناصر الإلكترونيةِ مثل المقابس connectors، والدوائر التكاملية، والترنزستورات والدوائر المرنة تَطْلي كهربياً بشكل إنتقائي للحُصُول على مقاومةِ تماس contact resistance ومقاومةِ تآكلِ corrosion resistance جيدتان . التصفيح يُمْكِنُ أَنْ يتم يدوياً أَو آلياً. التصفيح الإنتقائي بشكل منفرد على الدبابيسِ غال جداً. لذا، فإن التصفيح الجماعي (الانتاجي) يعتبر إلزامي.



شكل رقم (٤-٢٣) يوضح عملية الطلاء الانتقائية بكرة-بكرة

عادة، دلفنة ورق معدني رقيق للسُمكِ المطلوبِ مثقوبة على كلا الحافتين، ينظّفَ كيمياوياً أَو ميكانيكياً، ويتم تصفيحه بشكل مستمر (شكل رقم ٤-٢٣) بشكل إنتقائي بمعدن مثل النيكلِ، والذهب، والفضة ، والروديوم rhodium، والبالاديومُ palladium أَو السبائكُ مثل القصدير-النيكل، والنحاس-النيكل والنيكل -الكروميوم nickel-chromium . نظام المعالجة المستمرة للسطح مبني على حركة البكرات بطول خط الانتاج.

في هذه الطريقةِ للطَلاء الكهربائي الإنتقائيِ، يتم تغطية أو طلاء ورقَ المعدن الرقيق أولاً بطلاء مقاوم على الجزء الغير مرغوب ويتم تصفيح الورق كهربياً على الجزء المختار أو الانتقائي.

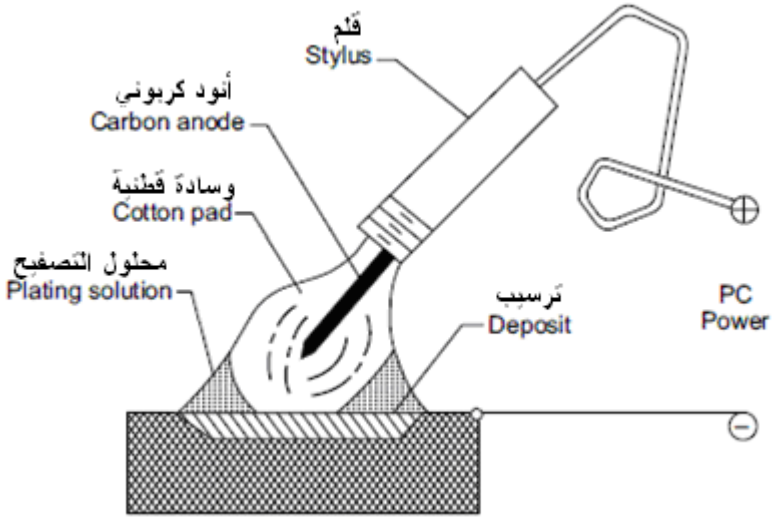
٤-١٠-٣ التصفيح بالفرشاةِ Brush Plating:

(التصفيح الانتقائي selective plating)

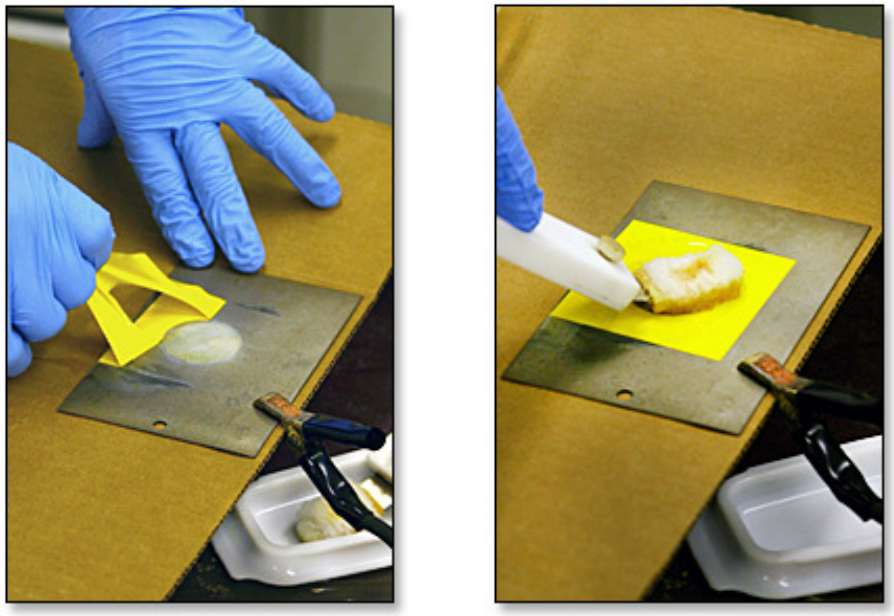
النوع الآخر للتصفيح الإنتقائي ' مسمّى بالتصفيح بالفرشاةِ ' كما هو موضح بالشكل رقم(٤-٢٤). وهو عبارة عن توديعُ أو ترسيب كهربائيُ حيث فيه لا تغمر كُلّ الأجزاء في محلول الكهرباءَ electrolyte solution.

في هذه التكنولوجيا، تطلى فقط المنطقة المحدّدَة، بدون التَأثير على بقيّة الجزء. عادة، يتم الطلاء بالمعادن الثمينة على الأجزاءِ الإنتقائيةِ لألواح الدوائر المطبوعة مثل مناطقِ مقبس الحافةِ. التصفيح بالفرشاة مستَعملُ في أغلب الأحيان في ورش التجميع الإلكتروني لإصلاح الالواح المعيبة.

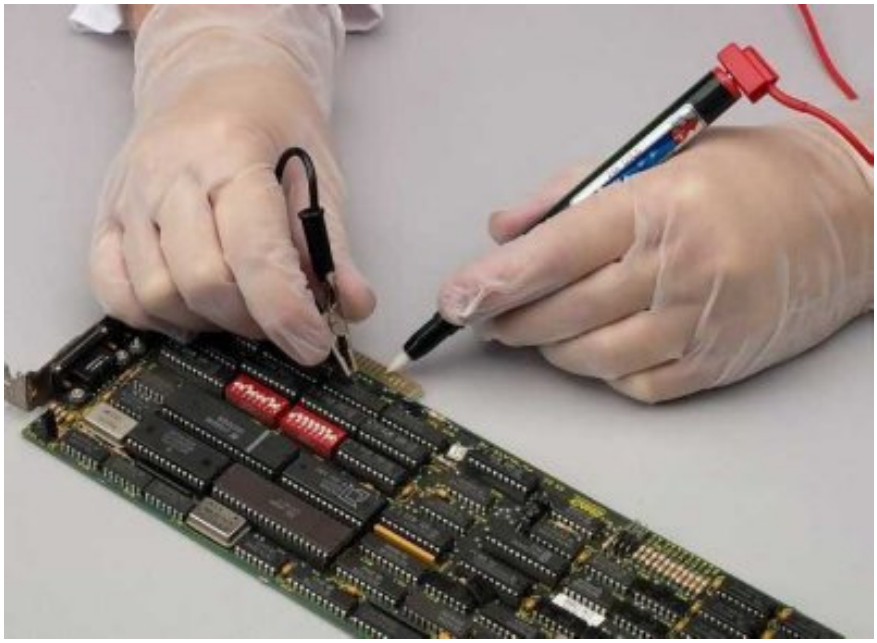
أي قطب موجب خاصّ (القطب الموجب الخامد inert anode مثل الجرافايت)، ملَفوف في مادة ماصة (مسحة قطنِية)، تستَعملُ لأَخْذ محلول التصفيح إلى النقطة التي نحتاج طلائها.



شكل رقم (٤-٢٤) يوضح اسلوب الطلاء بالفرشاة



شكل رقم (٤-٢٥) يوضح عملية الطلاء الانتقائي بالفرشاة



شكل رقم (٤-٢٦) يوضح اسلوب الطلاء بالفرشاة لصيانة أصابع مقبس اللوح

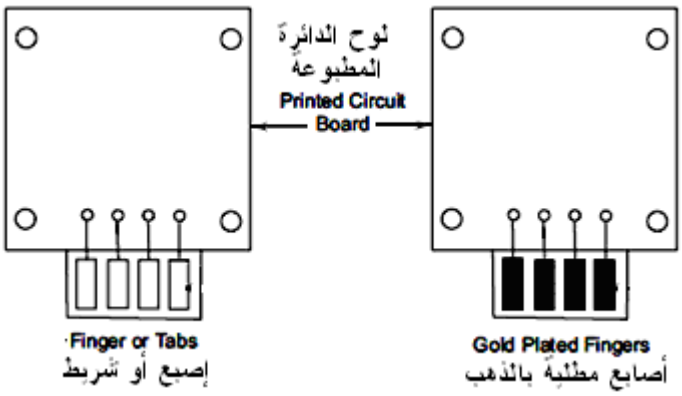
٤-١٠-٤ تصفيح (طلاء) الإصبعِ Finger Plating:

يتم استخدان المعادن الثمينة في الطلاء الكهربائي لمقبس الحافة edge connector، للشرائط tabs ، أو الأصابع لتَزويد مقاومةِ التماس المنخفضةِ بالإضافة إلى مقاومة عاليةِ للتآكل نتيجة للأحتكاك wear . هذه التقنيةِ تُدْعَى تصفيح الإصبعِ finger plating أو تصفيح الشريط tab plating.

الذهب مَطْليُ كهربياً بطلاء تحتي مِنْ النيكلِ على اشرطة مقبس الحافة. والعمليةَ هى كالتّالي:

a) Stripping;	Removal of tin or tin-lead coating on the tabs.
b) Rinsing;	Water rinsing
c) Scrubbing;	Scrub with abrasive
d) Activation;	Dip in 10 per cent H_2SO_4
e) Nickel electroplating on the tabs;	(4-5 micro thickness)
f) Rinsing;	Demineralised water
g) Gold strike;	Solution treatment
h) Gold electroplating;	
i) Rinsing; and	
j) Drying.	

تطلى كهربياً الأصابعَ fingers أو الشرائط tabs (الشكل رقم٤-٢٧) بالتقنياتِ اليدويةِ أو الآليةِ. الطلاء كهربياً بالذهب الآن تم استبداله بالطلاء الكهربائي بrhodium ، والبالاديومِ والبلاتينِ على تماس الشرائط contact tabs أو الأصابع.



شكل رقم (٤-٢٧) اسلوب الطلاء لأصابع مقبس لوح الدائرة المطبوعة

٤-١٠-٥ الطلاء بالمعجونِ المعدنيِ الموصل
:Conductor Metal Paste Coating

المعاجين المعدنيةِ الموصلة عموماً تؤسس على مسحوقِ المعدن الثمينِ، الذي يكون معلّق في سائل حامل عضويٍ. الفضة، أو الذهب أو البالاديوم أو سبيكة الفضة–البالاديومِ أو سبيكة الذهبِ–البالاديومِ أَو سبيكة البلاتينِ–الذهب جميعها مستعمل لهذه الطريقةِ.

هذه الأنواعِ مِنْ المعاجينِ مستعملة في طباعة النمطِ pattern printing على المواد الغيرِ موصلة مثل لوح البنية التحتية الخزفي، وذلك بواسطة إستعمال طريقة الطباعة بالشاشةِ screen printing. الخَلِيْطَ المطبوعَ يُجفّفُ وأخيراً يوضع في فرنُ عند درجة الحرارة مناسبة.

٤-١٠-٦ رش الفضة المختزلة
:Reduction Silver Spraying

عموماً يُعطي رش الفضة المختزلة التغطية التحتية للنمط الموصّلِ للتغطية اللاحقِة بواسطة أساليب الطَلاء الكهربائي الأخرى على المواد الغيرِ موصلة. تنفذ العمليةَ بالخطواتِ التاليةِ:

- السطحَ المُنَظَّفَ للمادّةِ العازلةِ يتم تحويله إلى حساس sensitized بمحلول كلوريدِ استانوس stannous؛
- محلول الفضّة المُخْتَلَطَ، هو عبارة عن خَلِيْط من نتراتِ الفضّةِ silver nitrate ، وماء مقطر distilled water ، وأمّونيا ammonia وهيدروكسيد الصوديومِ sodium hydroxide ويتم رَشه خلال فوهات على الاسطح التي تم تحويلها لمادة حساسة sensitized surfaces
- محلول الاختزال reduction solution، هو عبارة عن خَلِيْط الماءِ، وجلوكوز d-glucose وحامض نتريك nitric acid ، ومن ثمّ يتم رَشه.
- هذا ينتج طبقة فضّة موحّدة وبراقة على السطحِ.

هذه العمليةِ تُستَعملُ في الغالب في ألواح الدوائر المطبوعة المرنة المضافة additive.

٤-١١ التوزيع المعدني وسُمك التصفيح
Metal Distribution and Plating Thickness:

يَعتمدُ توزيعُ المعدن وسُمكُ التصفيح على أسطح ألواح الدوائر المطبوعة: على عملية التحكم في الحمّام الأليكتروليتي electrolytic bath . وهذا يتم خلال ثلاثة طرقِ:

a) تحليل المحلول Analysis of solution أَو التحليلِ الكيميائيِ الرطبِ wet chemical analysis ؛

b) إختبار فيزيائي على المحلول؛ و

c) إختبار الترسيب الكهربائي.

٤-١١-١ تحليل المحلول (التحليل الكيميائي الرطب)

يُنفّذ التحليلَ الكيميائيَ الرطبَ لتَحديد التالي في محلول الكهرباءِ:

- تركيز الآيوناتِ المعدنيةِ؛
- تركيز الحامضِ؛
- تركيز القاعدةِ؛
- تركيز الكلوريداتِ؛ و
- الشوائب المعدنية.

لتَنفيذ الطرقِ الكيميائيةِ الرطبةِ التقليديةِ لعناصر محلول تصفيح المعادنِ وغيرِ المعادنَ، من المُسْتَحسن دِراسَة كاتلوجات وكتيبات الموردين. هذه الطرقِ تَستعملُ في اغلب الأحيان مقياس pH، أو أقطاب الآيونِ النوعي specific ion electrodes أو مقياس الألوان colorimeters، أو الاسبكتروفوتوميتر spectrophotometers (جهاز قياس شدة الضوء النسبي بين مختلف أجزاء الطيف)..، الخ. قياس الإضافاتِ العضويةِ organic additives في محاليل القصدير، والنيكلَ والذهبَ تتم بإستعمال أساليب مُخْتَلِفةِ تَتضمّنُ الكروماتوغرافي السائلliquid chromatography، والاسبكتروفوتوميتر(فوق البنفسجي/الظاهر) uv/vis (ultraviolet/visible) spectrophotometer، والكروماتوغرافي الآيونيion-chromatography ، والبولاروغرافي polarography والفولتامتري voltametry. تفاصيل هذه الطرقِ يُمْكِنُ أَنْ تُوْجَدَ في النصوصِ

القياسيةِ في طرقِ القياسات في التحليلِ الكيميائيِ. تفاصيلَ هذه الطرقِ، على أية حال، خارج مجالِ هذا الكتابِ.

٤-١١-٢ الإختبار الفيزيائي للمحاليل
:Physical Tests for Solutions

البارامتراتَ التاليةَ يتم اختبارها بشكل فيزيائي في المحاليل الكهربائية electrolytes :

- الكثافة Density ؛
- قيمة pH ؛
- المُعادل Buffer
- الشَدّ السطحي Surface tension ؛ و
- إختبار خليةِ هيكلِ Hull cell .

٤-١١-٢-١ الكثافة Density :

تَعتمدُ كثافةُ محلول الكهرباءِ electrolyte على محتوى الملحَ في المحلول. ويُمكنُ أَنْ يَقاس بواسطة إستعمال آلةَ يطلق عليها هيدرومتر hydrometer . يَعطي مقياسُ الكثافةَ قيمة دقيقة عن محتوى المعدنَ والمحلول اللتان يجب أنْ يُبقيا ضمن القيمةِ الموصّى بها. الكثافة عادة يعبر عنها بوحدات Twaddell أَو Baume. وهى مُشتَقة مِنْ الجاذبية النوعية specific gravity. إذا كان تدريج الكثافةَ معطى بوحدة Baume gravity ، فإن الصيغة التالية يمكن أن تُستَعملَ لحِساب الوزن (الجاذبية) النوعي:

$$\delta = \frac{145}{145 - {}^{\circ}\mathrm{Be}'}$$

where

δ = specific gravity (kg/dm^3)

${}^{\circ}Be'$ = degree Baume' gravity

الجدول رقم ٤-٢ يَعطي قِيَمَ تمثيليةَ مِنْ الوزن النوعي، بوحدات Baume و Twaddel.

جدول رقم (٤-٢) يوضح التحويلات بين Specfic Gravity, Baume, Twaddel

Specific Gravity	Baume	Twaddel
1.000	0	0
1.100	13.0	20
1.200	24.0	40.0
1.300	33.3	60.0
1.400	41.2	80.0
1.500	48.1	100.0

٤-١١-٢-٢ مقياس الحموضة والقلوية pH للمحلول

تحدد قيمةُ pH درجة الحموضة acidity أَو درجة القلوية alkanity لمحلول الكهرباءِ. لقياس pH في محلول الطلاء الكهربائي، عادة أى طريقة كهرومترية تستعمل جهاز قياس pH متر. لقياسات عالية الدقة، يفضل استخدام جهاز قياس pH الرقمي.

يَحتوي الماءُ الصافيُ على تركيزُ متساويُ من آيونات H^+ وآيونات OH^- .

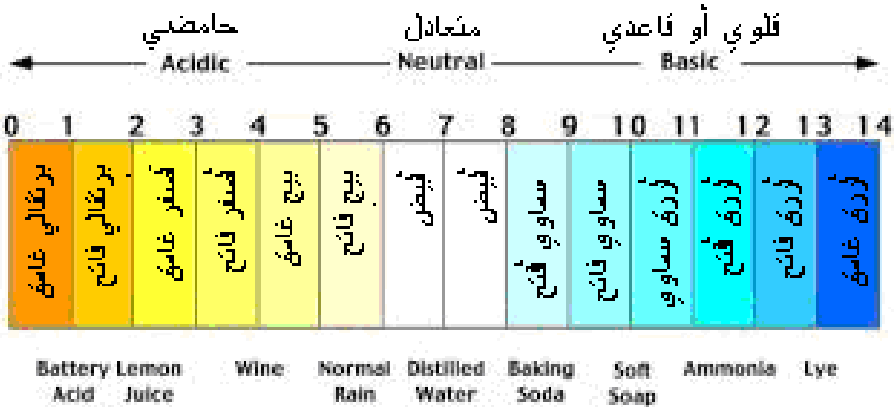
$$H_2O = H^+ + OH^-$$

المُنتَجَ الأيونيَ للماءِ يتم التعبير عنه بما يلي

$$[H^+]\,[OH^-] = 10^{-14}$$

عند إضافة الحامض إلى الماءِ، فإن تركيز آيونات H^+ يزِيدُ بينما تركيز الآيونات OH^- يتناقص. عند إضافة القلوي، فإن التركيز يصبح العكس. يعبر عن الحموضةَ acidity أَو القلوية alkalinity للمحلول بواسطة قيمة pH. يُشكّلُ تركيزُ آيونِ الهيدروجينَ القاعدة الأساسية لمِقياسِ pH كما هو مبين في الشكل رقم(٦-٢٨). القيمة الفعليّةَ مِنْ تركيزِ آيونِ الهيدروجينَ منخفضة جداً، وللراحةِ يتم التعبير عنه بالوغاريتم السلبي.

$$pH = \log \frac{1}{H^+} = -\log [H^+] = 10^{-pH} \quad OR \quad [H^+] = 10^{-pH}$$



شكل رقم (٤-٢٨) يوضح مقياس ph

يعتبر مقياس pH هو العاملُ الأكثر أهميةً للتحكم في عملية الطلاء الكهربائي process electroplating.

٤-١١-٢-٣ المُعادل Buffer:

عند إضافة محلول يحتوي على حمض أو ***قلوي*** ضعيف إلى محلول يحتوي على القلوي أو ***الحمض*** المقترن به نحصل على محلول متعادل Buffer solution.

وتعزل المعادلات Buffer جزئياً فقط في المحلول. يتم اضافتها إلى المحلول لكي تخفّضَ أو تختزل تأثير إضافةِ الحامضِ أَو القلوي على قيمةِ pH الخاصة بهما ولإبْقاء القيمةِ pH ثابتة. في الطلاء الكهربائي electroplating ، للمعدلات تأثيرُ مهمُ على بارامتراتِ العمليةَ.

٤-١١-٢-٤ الشدّ السطحي Surface Tension :

لكي نزيلَ السطح المنقر pittings بفعل الغازِ ولتَحسين التوديعِ أو الترسيب، يضاف معاملات تنشيط للسطح (surfactants) لمحلول التصفيح الكهربائي، على سبيل المثال، في الحمّاماتِ للتصفيح الكهربائي للنحاسِ الحامضيِ acid copper electroplating، يضاف معامل تنشيط للسطح غير إرْغاء non-foaming surfactants لتَقليل الإرْغاء أثناء هياجِ الهواء. من الضروريُ لقيَاْس الشَدّ السطحي للمحلول للصيانةِ النحاسيةِ للمحلول في تحكم العمليةِ. عادة، ١-يستعمل ميزان الإلتواء torsion balance لقيَاْس الشَدّ السطحي للمحلول. هذه الآلةِ يمكن أن تُستَعملَ لقيَاْس القوةِ

المطلوبة لفَصْل لوح الزجاج لمساحة قياسيةِ مِنْ سطحِ المحلول تحت الإختبارِ. تتضح القوةَ بواسطة قرص مدرج.

٤-١١-٢-٥ إختبار خليةِ الهيكل Hull Cell Test :

أي تقنية بسيطة لإسْتِنْتاج متى يحتاج المستوى الاضافي إنتباه ولتحديد تواً كَمْ تحتاج المادّة أَنْ تُضافَ باستخدام خلية تصفيح صغيرةِ مَعرُوفة بإسمِ خلية الهيكلِ Hull Cell . إنّ الترتيبَ لإختبارِ خليةِ الهيكلِ يوضح في الشكل رقمِ (٤-٢٩). تستعمل الخلية لإختِبار التصفيح لسلسلة ألواح عيّنةِ لتحديد متى يحتاج الحمّام تعديلاً أو ضبطاً ولتَحديد كمية الإضافة منه.

تميل خليةَ الهيكلَ للفِعْل كفحص سريع على سلامة حمام تصفيح القصدير/الرصاص. إستعمال الخلية بالإرتباط مع التحليلات الكيميائية، من المحتملُ التحليل بشكل نوعي وبشكل كمّي كُلّ العناصر الرئيسية للحمّامِ.

عندما يتم مليء الخلية إلى الخَطِّ العلامة على جانب الخليةِ، فإن حجم عيّنةِ الإختبارَ هو ٢٦٧ مليلترُ. إذا كان بدلالة :

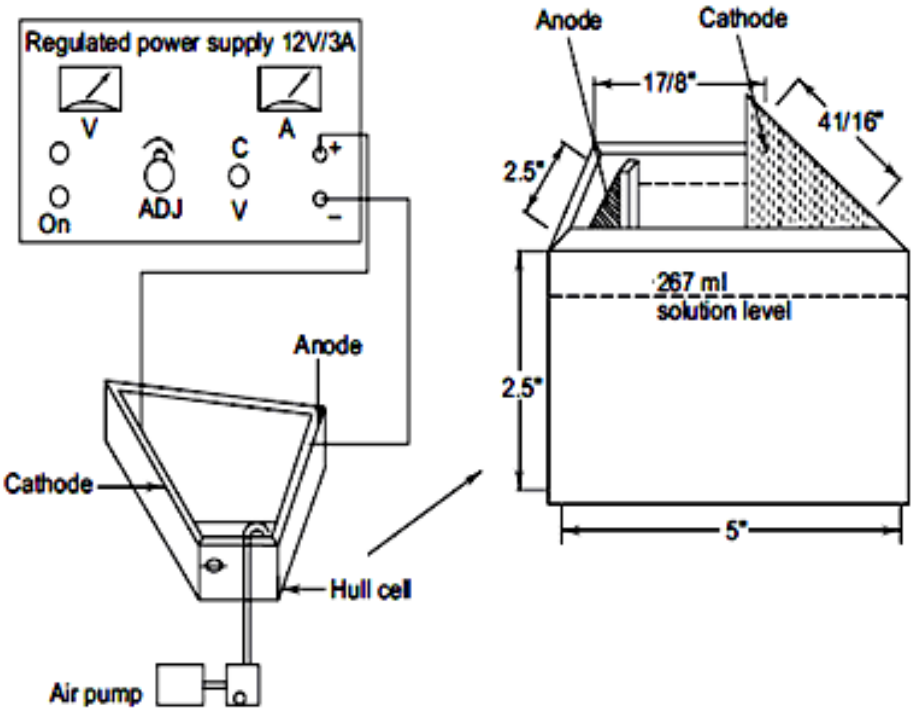
- V = Volume of main plating tank (litres)
- H = Amount of addition agent added to Hull Cell to produce acceptable test plate (millilitres)
- C = Amount of addition agent needed by main tank (millilitres)

عامل الضربَ الذي يَتعلّقُ بأنّك تُضيفُ إلى الخليةِ وما أنت سَتَحتاجُه للإضافة إلى حمّام تصفيحكَ يكون مُعطى بواسطة:

$$C = (V/0.267) \times H$$

عندما يتم التشغيل عند ظروف التشغيل المحدّدةَ بدلالة الدائرةِ والزمن ودرجةِ الحرارة، فإن إختبار الهيكلَ يعطي إشاراتُ تحكم pH، والملوثات وظروف الحمّامِ العامّةِ. إنه مساعدة ثمينة في تعديل أو ضبط العمليةَ والمحلول. وهو مفيدُ جداً لتحديد نسبةِ المحفّزَ catalyst ratio (نسبة المضاف additive ratio) ومستوى الشوائب في محلول الطَلاء الكهربائي. لذا، تعتبر خلية الهيكلِ الأكثر

شعبيةً والأداةُ الأكثر أهميةً في التحكم، وإختبار الطَلاء الكهربائي، والمحاليل ذات العلاقةِ. الجهاز المطلوب بسيطُ ورخيصُ ويأخذ الإختبار فقط بضع دقائق لتَحديد جودة محلول الكهرباءِ. على أية حال، العيب الرئيسي لإختبار خليةِ الهيكلِ هو تلك العيوبِ في التصفيح النحاسي مثل التصفيح المملّ dull plating، وخشونة roughness أو النقرات المستترة pitting، الخ. التي لَمْ توضح بهذا الإختبارِ.



شكل رقم (٤-٢٩) يوضح خلية هيكلِ Hull cell – ترتيب الاختبار

٤-١١-٣ إختبار الترسيب الكهربائي

:Testing of Electrodeposits

إذا كانت نوعيةِ التصفيح على ألواح الدوائر لَيستْ مقنعةَ، فإنه يُمْكِنُ أَنْ يُسبّبَ مشاكلِ مثل التآكلِ corrosion ، وقيود التيار المحَمْلة current-carrying constraints والإلتصاقِ adhesion

ومقاومةِ التماس contact resistance ومقاومةِ التآكل نتيجة الاحتكاك wear resistance.
جودة التصفيح تحدد عادة بواسطة إختبار البارامتراتِ التاليةِ:

- إختبار السُمكِ المعدنيِ Metal thickness [السطح والفتحات الخلالية]؛
- إختبار المساميةِ Porosity ؛
- إختبار الإلتصاقِ Adhesion ؛ و
- إختبار قابلية اللحام Solderability.

٤-١١-٣-١ إختبار سُمكِ المعدن
Metal Thickness Test:

سُمكَ التصفيح على نمطِ الدائرةَ وفي الفتحة الخلالية مُقاس بواسطة طريقتين:

a) طريقة غير تدميرية Non-destructive method — طريقة البعثرة العكسية لبيتا Beta back scattering method و

b) طرق تدميرية Destructive methods — طريقة القطاع الدقيق micro-section أَو طريقة المقطع العرضي cross-section .

الطريقة الغير تدميرية Non-destructive Method :

الطريقةَ الغيرَ تدميريةَ المستعملةَ عموماً والأكثر شيوعاً لإختبار تشطيبات لوح الدائرة المطبوعة هى طريقة البعثرة العكسية للشعاع بيتا b-ray backscatter method . هذه الطريقةِ مفيدةُ جداً لقياس سُمكِ التصفيح على النمطِ والفتحات المصفحة أثناء أَو بعد التصفيح وقبل عمليةِ النقش. الطريقة تَستعملُ أشعة بيتا المنبعثة الراديوية، التي تكون مثبتة على مجس مناسب. المجس يَشْملُ كلا من مصدر شعاعِ البيتا ودائرة الاستقبال. يوضع المجس على السطحِ الذي سيقاس سُمكِه. جزء من أشعة بيتا الذي يَرتطمُ على السطحِ يُصبحُ منعكساً. كمية الأشعةُ المنعكسةُ تقل في العددِ كلما زاد سُمك الطلاء. مع معايرة مناسبة مَع معيار ، يَعطي العدّادَ الالكتروني شعاع بيتا بشكل مباشر سُمكِ الطلاء مباشرة بوحدة الميكرون. تَعطي الآلةُ السُمكَ المتوسطَ. الذي يستعمل بشكل رئيسي لقيَأْس الذهب، القصدير، القصدير–الرصاص على النحاسِ والنحاس على الابوكسي epoxy ومقاوم الضوء على النحاسِ. العديد من جزيئات اشعة بيتا منبعثة وتشغيلات المجس القابل للتغيير تكون

ضرورية لتغطية مدى متسع من الاسماك. التقنية سريعة، ودقيقة، وغير تدميرية لقياس السمك. لذا، من المستحب جداً في مجال التحكم في الجودة لصناعةِ ألواح الدوائر المطبوعة، كلما كان الإختبار يُمْكِنُ أَنْ يُجري حتى مِن قِبل مشغلِ غير ماهرِ.

الطريقة التدميرية Destructive Methods :

التقنية التدميرية الأكثر شعبيةً والتي تَعطي قياس مباشر لسمك الترسيب هى التَقسيم الدقيقُ micro-sectioning ، الذي يَتضمّنُ تحضيرَ النموذج metallographic specimen والقيام بفْحصُه تحت المجهرِ.

لوح الدائرة المطبوعة المَطْلية يُقْطَعُ بشكل عمودي أَو أفقياً ويرى تحت المجهر لمُلاحَظَة تركيبِ الطبقةِ المرئيةِ ويتم تصَوَّيرُها. إختلاف سُمكِ التصفيح على النمطِ وحوائط الفتحةَ يُمْكِنُ هكذا أَنْ يَكُونانِ مُحدَّدان. عادة، تقطع الألواح عرضياً بشكل أفقي بواسطة إستعمال المنشار الدائري الماسي diamond circular saw وتلمع بالمعجونِ الماسي diamond paste أَو ورقةِ الحجرِ emery paper بإدَارَة عجلةِ التلميع . إنّ العيناتَ المُجَفَّفةَ تَوضِعُ تحت مجهر عند تكبير يساوي من ٣٠ إلى ١٠٠٠ مرةٍ، فَحصَ ومصور عند ثلاثة مواقعِ على كُلّ حائط فتحة مَطْلي. النَتائِجَ تكتب عموماً في تقارير كمتوسط.

تقنية التَقسيم الدقيق، عندما تطبق على الطلاءاتِ الرقيقةِ، قَدْ تُقَدّمُ خطأ كبيراً. على سبيل المثال، لترسيب سمكه واحد ميكرونِ، فإن الخطأ قَدْ يَكُون بارتفاع الـ٥٠ بالمائة. على أية حال، للطلاءاتِ السميكةِ، نجد انّ الخطأ إلى حدٍّ كبير أقل. الخطأ بنسبة ٢ بالمائة هو لإيداع مقداره ٥ ميكرونِ.

هذه التقنيةِ لَها فائدةُ في أنّها يُمْكِنُ أَنْ تُطبق على أيّ هندسة، متضمنة حوائط الفتحةِ. المعلومات الإضافية على الطلاءاتِ مثل العددِ والطبيعةِ، الإتساق، حضور الفراغاتِ والقطع التحتي للموصلات، الخ. ، يُمْكِنُ أيضاً أَنْ نحْصَلَ عليه بسهولة. على أية حال، الطريقة مضيعة للوقتُ وتتطلّبُ مشغل ماهر.

٤-١١-٣-٢ إختبار المساميةِ Porosity Test:

إختبار المسامية يُستَعملُ لإكتِشاف التوقفاتِ discontinuities مثل المساماتِ والشقوقِ في الإيداعاتِ أو الترسيبات على السطح المطلي. الإختبارَ يعتبر مهمُ خصوصاً على اشرطة التماس contact tabs ، كتآكل المعدن الاساسي خلال المسامات لَرُبَّما لَها تأثير ضار على أيّ تماس كهربائي. لذا، المسامات والشقوق تختبر بشكل رئيسي على إيداعاتِ المعدن الثمينِ.

المسامية Porosity على الإيداعاتِ أو الترسيب المعدني يُمْكِنُ أَنْ تُختَبَرَ بواسطة التقنياتِ المُخْتَلِفةِ. على أية حال، الإختبار الكهروغرافي electrographic وبَعْض إختباراتِ المساميةِ بالغاز الكاشف أكثر شيوعاً. إختبارِ الغازَ الذي يُعرّضُ لوح الدائرة المطبوعة المصفح ٢٤ ساعة تعرض لثاني أكسيد الكبريت. العينة محفوظة في إناء مغلق حجمه ١٠ لتر لقدر من الماء ٠.٥ سنتيمترِ٣ و١٠٠ سنتيمترِ٣ لثاني أوكسيدَ كبريتِ الغازيِ إضافي. بعد ٢٤ ساعة، يفتح الاناء، ويتم حقن ١٠٠ سنتيمتر٣ مِنْ كبريتيدِ الهيدروجينِ hydrogen sulphide إليه وويغلق مرة ثانيةً الاناء. المسامية يشارُ إليها بتآكلِ المعدن الأساسي التي قَدْ تُلاحظُ أمّا بالعين المجرّدةِ أَو بالمجهر. إختبارَ المساميةِ الغازيةِ يُستَعملُ في الغالب للطلاء بمعدن الذهبِ، والبلاتينُ وسبائكُ القصدير–النيكل على لوح البنية التحتية للنحاسِ وسبائكِه.

٤-١١-٣-٣ إختبار الإلكتروجرافيك Electrographic

يَستلزمُ هذا الإختبارِ إستعمال ورقةِ كبريتيدِ الكادميومِ cadmium sulphide بتَوَسُّطه الترطيب بين نحاسِ الدائرةَ كقطب موجب وصفيحة من الألمنيومِ كقطب سالب تحت ضغط، وإمرار تيار معين خلال السندويتش. تدفق التيار مِنْ النحاسِ خلال المساماتِ في المعدنِ المَطْلي خلال كبريتيد الكادميومِ إلى الألمنيومِ. البُقَع السوداء المتكونة على ورقةِ كبريتيدِ الكادميومَ تُشيرُ إلى وجود المساماتِ في التصفيح، بينما التصفيح الخالي مِنْ المسام لا يُظهرُ عليه مثل هذه البُقَعِ السوداءِ. ألواح الدوائر المطبوعة المطلية بالنيكل Nickelplated تختبرُ في الغالب بهذه الطريقةِ. الشقوق الدقيقة على السطحِ المَطْلي يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تكتشف بهذه الطريقةِ.

٤-١١-٣-٤ إختبار الإلتصاقِ Adhesion

يُمثّلُ الإلتصاقُ الربط بين المعادنِ. عندما يكون إلتصاق الطلاء سيّئُ، فهو يُمْكِنُ أَنْ يؤدي إلى التَصَدُّع أَو التقشر الذي يحدد جودة الإلتصاقِ.

لكي يُنفّذَ هذا الإختبارِ، توضع قطعة الشريطِ اللاصقِ مَوْضُوعةُ على السطحِ المَكْسُوِ والمَضْغُوطِ بشكل موحّد (بدون وجود فُقاعَة هَواءٍ). فإن الشريطَ من ثمّ يجذب مِنْ الحافةِ بقوةِ. السطح المعدني يفحص بعد الجذب.

٤-١١-٣-٥ إختبار قابلية اللحام Solderability

قابلية اللحام Solderability هى مقياس لقدرة السطح لكي يكون مرطباً wetted بالكامل بواسطة اللحامِ المائعِ molten solder . وهو مُختبر عادة لألواح الدوائر المطبوعة المشطبة. الإختبارَ مُؤَدَّى بإخْضاع العينة المعالجة بمساعد اللحام fluxed specimen عادة لمساحة قدرها بوصة واحدة مربعة لتحقيق تماس مع dross أَو الأكسيدِ الخالي من اللحام في درجةِ الحرارة الموصّى بها(٢٤٠ °C/s). الألواحَ المُنَظَّفةَ مُلاحَظة خلال مكبّر قدره عشرة مرات للاتي:

الترطيب Wetting: تشكيل لطلاء اللحامِ الموحّدِ؛

إعادة الترطيب Dewetting: غطاء اللحامِ الشاذِ أو الغير منتظم؛ و

غير مرطبة Non-wetting: غَطّى باللحامُ الشاذ مع المعدن الأساسي المكشوفِ.

العينة يَجِبُ أَنْ تعْرضَ ٩٥ بالمائة ترطيب كامل.

٤-١٢ إعتبارات تخطيط ورشة الطلاء الكهربائي :

وهى أُسّست مِنْ الخبرة بأنّ أكثر حوادث الطَلاء الكهرباء قابلة للتقصّي ونسبها للإهمالِ، وإنعدام الخبرة، والفشل لتَنفيذ وتتبع التعليماتِ، ورداءة هندسة الأجهزةِ، والتخطيط الناقص مِنْ خزانات التصفيح وأنظمةِ التهويةِ، والتدبير المنزلي السيئ، وأرضية الورشة الغير صحيحةِ وترتيبِ تصريفِ المياه، والتشويش بخصوص المواد الكيمياوية والتعريف السيّئ للخزانات والمواد الكيمياويةِ. مثل هذا الإهمالِ قَدْ يُؤدّي إلى الإنفجارِ، والنيران وإطلاق الغازاتِ السامّةِ التي تضرّ بالصحةِ. الشكل رقم (٤-٣٠) يوضح ترتيبات أحد ورش الطلاء المعدني.

شكل رقم (٤-٣٠) يوضح ترتيبات أحد ورش الطلاء المعدني

من الأنواعَ الشائعة لمخاطر المواد الكيمياوية المستعملة في ورشة الطَلاء الكهربائي:

- الهيدروجين Hydrogen ؛
- السيانيد Cyanides ؛
- المذيبات الكلورية Chlorinated solvents ؛
- حامض الكبريتيك Sulphuric acid ؛ و
- الحامض الكرومي Chromic acid ؛

الهيدروجين Hydrogen :

يحدث إنفجار الهيدروجين مَع المنظفات الكهربية التي تنتج الرغوةَ. بطانية الرغوةَ خَلقتْ بواسطة عوامل الترطيب wetting agents أحياناً تَحْاصرُ الهيدروجينَ ويتولد الأوكسجين في نقاط التماس الكهربائيِ. وهذا يُمْكِنُ أَنْ يُمْنَعَ بمقدار إبتعاد نقاط التماس الكهربائي عن مستويات الرغوةِ والترتيبات المناسبة للعادمِ.

السيانيد Cyanides :

عندما تكون حمّامات السيانيدِ مستعملة للطَلاء المعدني ، فإن ترتيب التصريفِ المنفصلِ ونظام عادمِ يكونا موصّى بهما. قناع الأمانُ للمشتغلين ضروري.

المذيبات الكلورية Chlorinated solvents :

هذه المذيبات solvents مستعملة في وحدات تفكيك الدهان بالبخار/ الماء . هذه المذيبات solvents يُمْكِنُ أَنْ تؤثّرَ على المخ عندما يَستنشق عامل التشغيل أو عامل الصيانةَ هذا البخارِ لفتراتِ طويلةِ.

الأبخرة القلوية Alkali vapours (صودا حارقة caustic soda) المعرضة إلى الموادِ المُكَلوَرةِ chlorinated materials يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ إنفجارَ. لذا فإن قسم فك الدهون degreasing يَجِبُ أَنْ يكونَ لديه عادم مناسب ونظام تهويةِ ويَجِبُ أَنْ يُفْصَلا عن العملية الأخرى. التنظيف المفصول وخزان الشْطف يتم الاحتيَاجُ إليهما متى كانت المذيبات المكلورة مستعملة. التصميم والصيانة الغير صحيحين لوحداتِ تفكيك الدَهْون تصبح خطرةُ على الحياةِ.

الأحماض Acids :

في ورش الطلاء الكهربائي، الاحماض مثل أحماضِ الكبريتيك sulphuric acids ، وحامض الهيدروكلوريد hydrochloric acid وحامض النتريك nitric acid مستعمل لإعداد محاليل الطلاء الكهربائي. عندما تخْلطُ هذه الموادِ، يجب عليك ارتداء ملابس وقائية، مئازر، قفازات ونظارات الوقاية الكيميائية لتحقيق الأمانِ. ما عدا ذلك أيّ حادث يُمْكِنُ أَنْ يَؤذي الوجهَ وملابس.

دائماً أضف الحامض إلى الماءِ ببطء، فإن إثارة محلول كالحامض تعتبر مؤذية. الماء لا يَجِبُ أَنْ يَكُونَ هو المضاف إلى الحامضِ. هذا يُسبّبُ تفاعل عَنيفَ وفوريَ حيث يُمْكِنُ أَنْ يضطرب لأعلى ويؤدي إلى الإحتراق الحادِّ لجلدِ العامل المكشوف.

الحوامض المَسْكُوبة والبخار الحامضي يُؤثّرانِ على المشغلِ أيضاً ويُؤدّيانِ إلى تلوث الهواء. العادم الصحيح، وأنظمة التهويةِ، والتخطيطَ المناسب وارضيات مقاومة للحامض ضرورية في ورش التصفيح.

٤-١٢-١ تخطيط ورشة الطلاء المعدني :

إنّ متطلبَ التخطيطَ لورشة الطَلاء الكهربائي يَعتمدُ على العمليةِ، التي تكون مِنْ ثلاثة أنواع:

- عملية التصفيح الآليةِ Automatic plating process؛
- عملية التصفيح النصفِ آليةِ Semi-automatic ؛ و
- عملية التصفيح اليدويةِ Manual .

أنظمة التصفيح المذكورة بأعلاهِ لَها السلاسلُ أو التعاقبات التاليةُ:

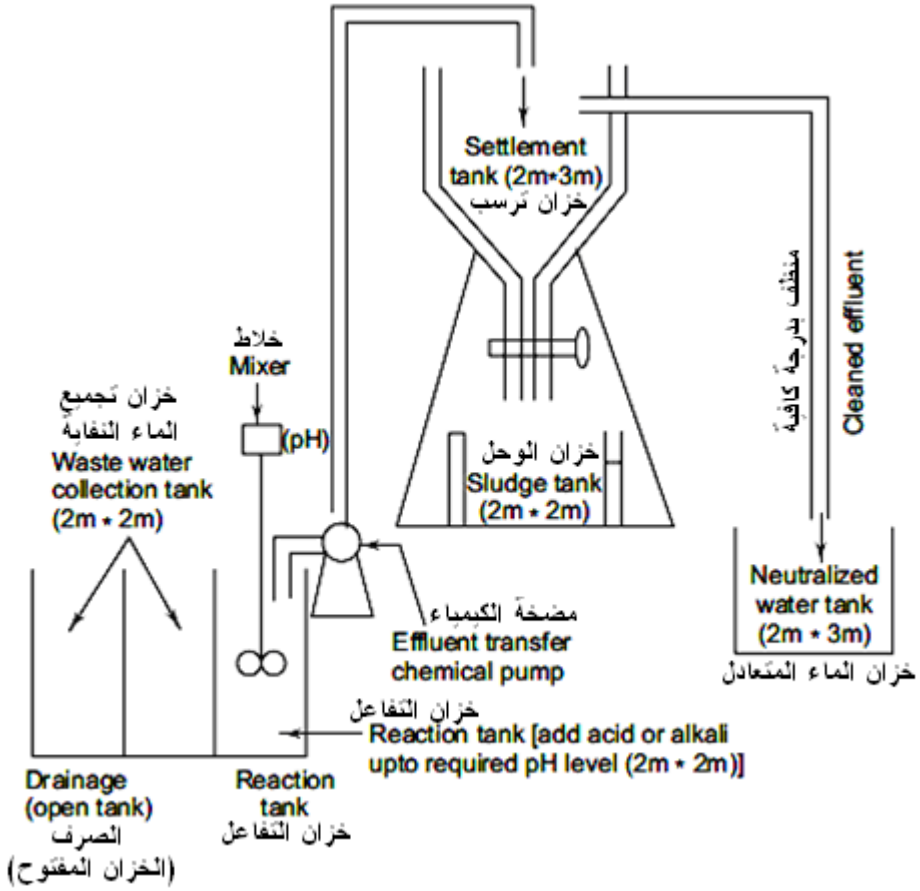
- نظام تركيب الهيكل Racking system أَو نظام توزيع الأسلاك wiring system ؛
- المعالجة المبدئية Pre-treatment متضمن ذلك نظام الشَطْف ؛
- نظام الطلاء الكهربائي؛
- ما بَعْدَ المعالجة Post-treatment متضمن ذلك نظامى الشَطْف النهائي والتَجفيف ؛ و
- نظام الإفْراغ Unloading system .

بغض النظر عن سواء كانت العمليةِ يدويةُ أو نصفُ آليةُ أو آليةُ، فإن الترتيب الخماسي أعلاه يُمكنُ أَنْ يَكُونَ في وحدةِ واحدة أَو في وحداتِ مختلفةِ. إنّ النظامَ العامَّ مُرتَبَط بنظام عادم مركزي.

أرضية غرفةِ التصفيح يَجِبُ أَنْ تَكُونَ ضِدَّ الماءَ ومكسوة بمقاوم حامضِ / قلوي (أمّا طبقة إبوكسية epoxy أَو طبقة قارِ bitumen). أثناء المعالجة، سُكْب بَعْض العائقِ خارج من محاليل التصفيح أَو محاليل التنظيف على الأرضيةِ مستحيلة التجنبُ. إذا تمت صناعة الأرضية من الإسمنتِ، فإنه سَيَكُونُ متأثّراً بسرعة ومَنْ الضَّرُوري أَنْ يتم حمايته بالطلاء الوقائي.

الماء المستعملَ للتصفيح والشَطْف يَجِبُ أَنْ يَكُون ماءاً نقياً مثل الماء المقطر distilled water أَو الماء المعاد تعدينه de-mineralized water . كُلّ التركيبات المعدنية المكشوفة في الغرفةِ يَجِبُ أَنْ تكون محمية مِنْ تآكل الحامضِ والقلوي. لهذا الغرضِ، النقاط المستعملة يَجِبُ أَنْ تَكُونَ مدهونة بمادة bitumastic " أو فيما يسمى chlorinated rubber paints أو دهان الفينيلِ vinyl paints أَو دهانات من النوعِ الراتنجي الإبوكسي epoxy. في ورشة التصفيح، مخطط المعلوماتَ للأمانِ واحتياجات الاسعافات الاولية يَجِبُ أَنْ تُعْرَضَ بوضوح.

الماء المستعمل يَجِبُ أَنْ يُفرَغَ مباشرة مِنْ الأرضيةِ أَو الخزانات ويتم توصيله إلى قنوات التصريفِ. الأرضية يَجِبُ أَنْ تكون مائلة ومنحدرة انحدار طفيف نحو قنواتِ التصريفِ. المياه القذرة المجمّعة يَجِبُ أَنْ تُعالجَ في نباتاتِ المعالجةِ المختلفةِ والماءِ المُعَالَجِ يَجِبُ أَنْ يَكُونُ محايد حتى ٧-٨ pH. التصريف يجب أنْ يُوصَلَ إلى نظامِ المبخّرِ المفتوحِ كما هو معروض في الشكل رقمِ ٤-٣١.



شكل رقم (٤-٣١) يوضح نظام الصرف لمعالجة التلوث

٤-١٢-٢ الأجهزة

محاليل التصفيح شديدة التآكل. والإجراءات الوقائية يَجِبُ أَنْ تُؤْخَذَ لحِماية حوائط وارضية القاعِ للخزانات والمرشحاتِ. محاليل خزانات الطلاء، وعناصر التدفئة، والمرشحاتَ ومساعدات المرشحات تعتمد على نوعِ محلول التصفيح المعدنيِ. المواد المستعملة لبناءِ أجهزة الطلاء الكهربائي موضحة في الجدول رقم (٤-٣).

جدول رقم (٤-٣) يوضح المواد المستخدمة لبناء أجهزة الطلاء الكهربائي

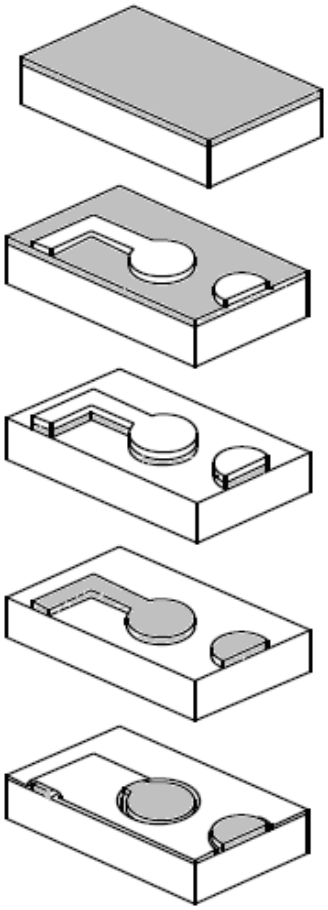
Bath	Tank Lining	Heaters	Filters	Filter Aids
Copper pyrophosphate	PVC, rubber polypropylene	Stainless steel	Stainless steel, epoxy	Cellulose fibre, asbestos fibre
Acid copper sulphate	PVC, rubber, polypropylene	Carbon	Hard rubber	Non-silicated filter aid
Acid gold	PVC, pyrex, quartz, Teflon	Quartz	PVC lined	Asbestos diatomaceous earth
Alkaline gold	PVC, pyrex polypropylene, Teflon	Titanium	PVC lined	Asbestos fibre
Tin lead	PVC, rubber	Not required	PVC rubber lined	Non-silicated filter aid
Nickel sulphomate	PVC, polypropylene	Not required	PVC rubber lined	Asbestos fibre
Bright acid tin	PVC, polypropylene	Not required	316 stainless steel, hard rubber	Asbestos fibre
Bright cyanide silver	Hard rubber	Not required	316 stainless steel, polypropylene	Asbestos fibre

٤-١٣ أنواع طرق صناعة ألواح الدوائر المطبوعة
:Types of PCB Manufacturing

٤-١٣-١ معالجة المطروح
Subtractive Processing

وهى كل المعالجات التكنولوجية المشروحة سابقاً في الابواب (نقل الصورة، النقش الكيميائي) ونعني هنا أن عملية النقش ما هى إلا عملية طرح كل انماط الدائرة من اللوح النحاسي الكلي بواسطة الحفر للنحاس الباقي من قشرة النحاس (خارج نمط الدائرة) على جانبي اللوح المدعوم كما هو واضح بالشكل رقم (٤-٣٤،٣٣،٣٢).

تنفيذ لوح دائرة مطبوعة أحادية الجانب:



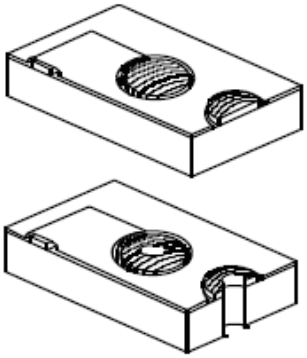
إعداد اللوح المدعوم ذو القشرة النحاسية
Copper Clad Laminate Preparation

طباعة مقاوم صورة النمط النحاسي
Copper Pattern Image Resist Printing

Copper Etching حفر أو نقش النحاس

تقشير صورة أو طبقة المقاوم
Resist Image Stripping

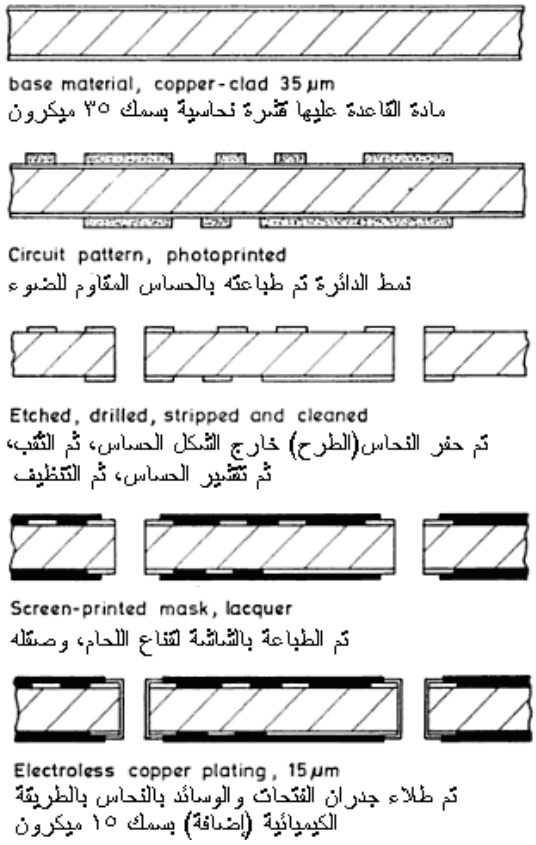
طباعة صورة قناع اللحام
Soldermask Image Printing



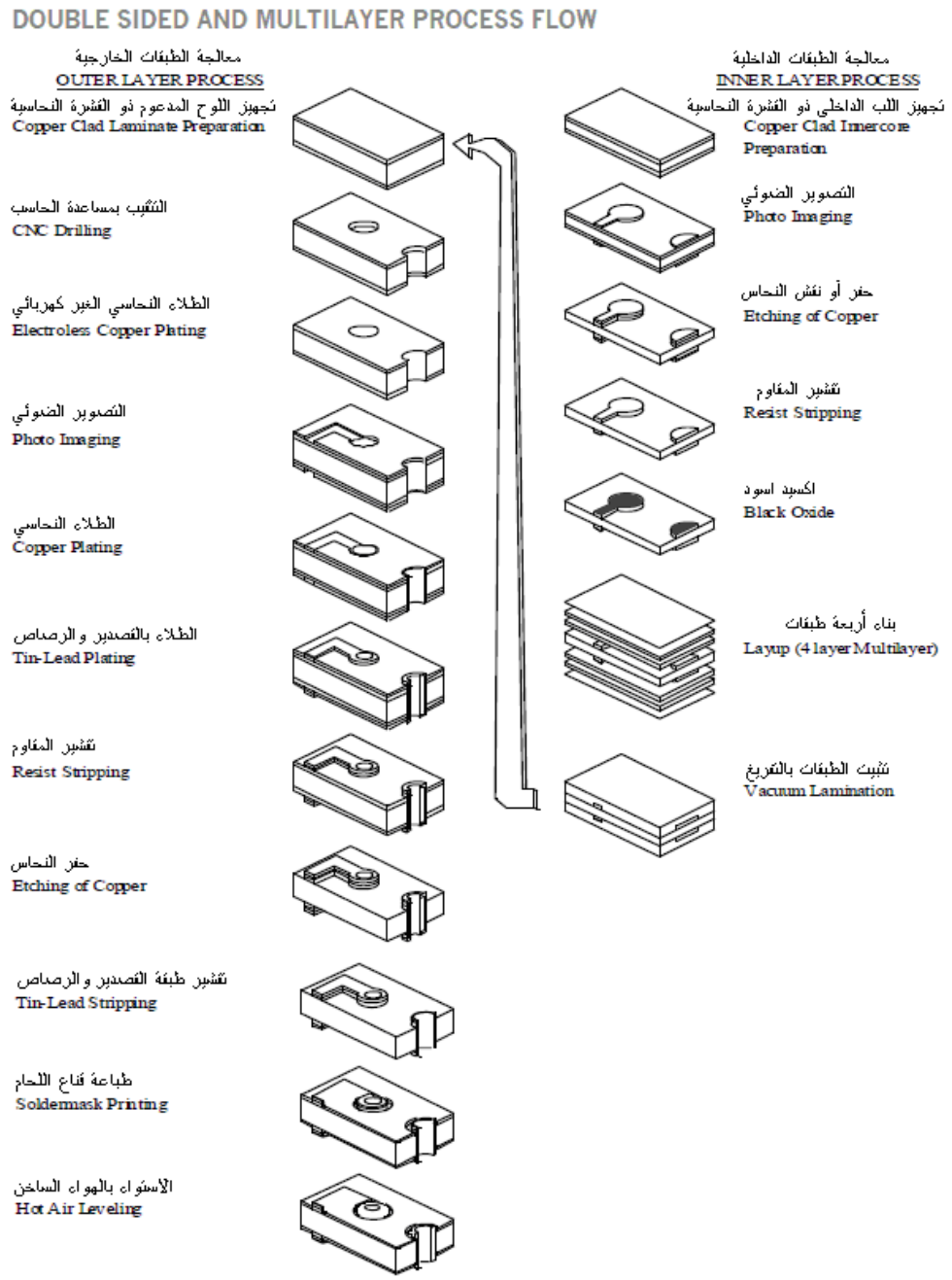
الإستواء بالهواء الساخن أو مساعد اللحام
Hot Air Leveling or Fluxing

تخريم أو تثقيب الفتحات
Holes Punched or Drilled

شكل رقم (٤-٣٢) يوضح عملية معالجة المطروح


base material, copper-clad 35 µm
مادة القاعدة عليها قشرة نحاسية بسمك ٣٥ ميكرون
Circuit pattern, photoprinted
نمط الدائرة تم طباعته بالحساس المقاوم للضوء
Etched, drilled, stripped and cleaned
تم حفر النحاس(الطرح) خارج الشكل الحساس، ثم الثقب،
ثم تقشير الحساس، ثم التنظيف
Screen-printed mask, lacquer
تم الطباعة بالشاشة لقناع اللحام، وصقله
Electroless copper plating, 15 µm
تم طلاء جدران الفتحات والوسائد بالنحاس بالطريقة
الكيميائية (إضافة) بسمك ١٥ ميكرون

شكل رقم (٤-٣٣) يوضح عملية معالجة المطروح يتخللها عملية معالجة المضاف



شكل رقم (٤-٣٤) يوضح تتابع عمليات التصفيح للوح دائرة مطبوعة متعددة الطبقات

٤-١٣-٢ معالجة المضافِ Additive Processing:

معالجة المضافِ قُدّمتْ في الستّيناتِ في صناعةِ ألواح الدوائر المطبوعةِ كطريقة إقتصادية لصِناعَة ألواحِ التعقيدِ المعتدلِ. مدّخرات التكلفةَ تَجيءُ أولياً مِنْ تخفيضِ خطواتِ العمليةِ وإزالةِ النفايةِ. إزالة النفايةِ القاعدة ذاتها مِنْ عمليةِ المضافَ، التي لا تُهدرُ شيءَ، حيث يُضافُ الموادَ إلى اللوحةِ فقط حيثما هى مطلوبة.

تَبْدأُ عمليةُ 'المضافَ' أساساً مِنْ اللوح المدعوم الذي ليس له قشرة نحاسية unclad laminate، وبمعنى آخر: ليس هناك نحاس على اللوح المدعوم الاساسي. يتم ترسيب النحاس بشكل إنتقائي على اللوح المدعوم الاساسي base laminate حيثما هو مطلوبُ كموصلات بموجب تصميم الدائرةِ. العملية لا تَتضمّنُ نقش بأي مرحلة ولذا، كمية النحاسِ القابلة للاعتبار يتم توفيرها. حيث أنه ليس هناك نحاس أساسي يقوم بتوصيلُ الموصلات، فإن التصفيح الغير كهربائي مستخدم لبناء سمك الموصلات.

الأنواع الخاصّة من الألواح المدعومة مطلوبة لعمليةِ المضافِ. أكثر الألواح المدعومة شيوعاً هى:

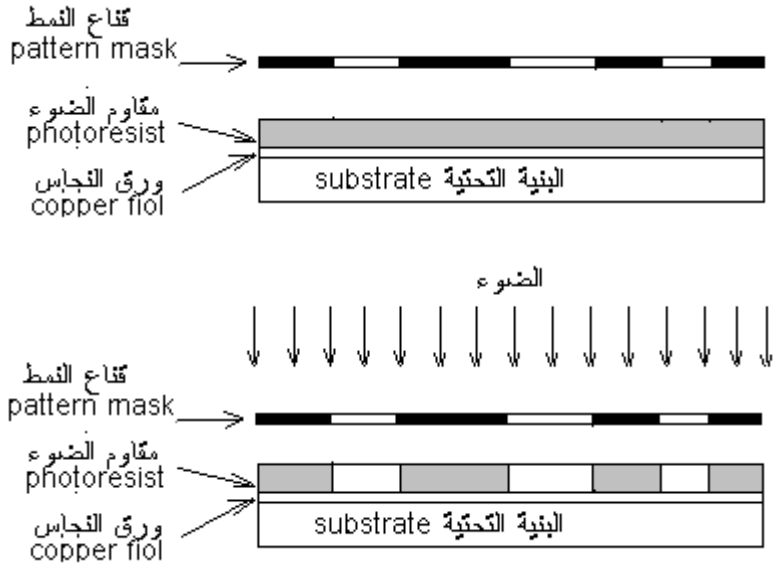
- الألواح الفينولية المدعومة بالورق Paper phenolic laminate مَع سُمك طبيعي أو عادي مِنْ الراتنجِ على أسطحها؛
- الألواح الإبوكسية Epoxy laminate مَع راتنج بسُمكِ من ٣٠ إلى ٥٠ ميكرونِ؛
- الإبوكسي الزجاجي Glass epoxy مَع أَو بدون راتنجِ مساعدِ ملتصق بورقِ الألمنيومِ المكسي بطبقة من اوكسيد الألومنيوم. هذا اللوح المدعوم مستعمل من قبل المنتجين لتكنولوجيا الفيلمِ السميك أَو الرفيع thick or thin film technology.

الألواح المدعومة الابوكسية مستعملة مباشرة بينما الالواح المدعومة الفينولية تحتاج إلى طلاء أكبر لتَحْسين الإلتِصاق بين القاعدةِ base والورق النحاسي الرقيق copper foil . بعد التثقيب، يتم ازالة الورق المؤكسد بالالومنيوم بواسطة النقش etching أَو التقشير peeling ، ويَتْركُ سطحَ الراتنجِ التحتي في حالة خشنة لكي جيداً لعملية الإلتصاق.

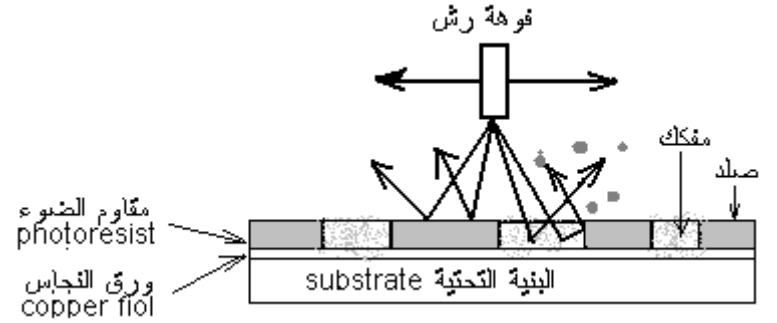
تصنف طرقَ المضافَ لصناعةِ الواح الدوائر المطبوعة إلى ثلاثة عمليات أساسية:

- مضاف بالكامل Fully additive ؛
- مضاف نصفي Semi-additive ؛ و
- مضاف جزئي Partially additive .

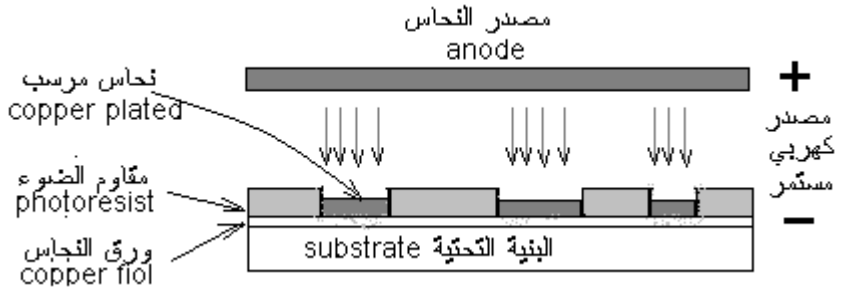
الخطوة المشتركةَ في كُلّ هذه العملياتِ هو أنّ كلّها تتضمّن تصفيح نحاسي غير كهربائي electroless لتكوين موصلات أَو فتحاتِ خلالية مصفحة عند نُقطَةٍ مَا في طريقةِ إنتاجها.



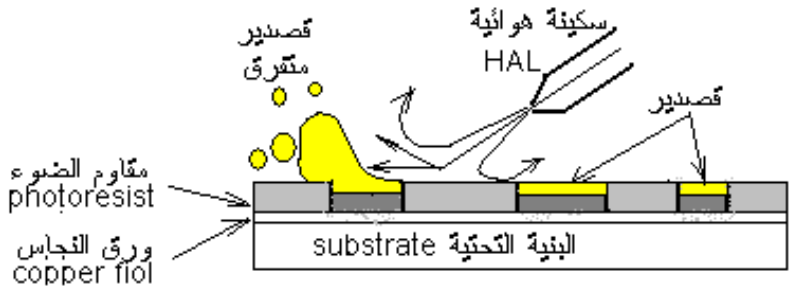
لتكوين الدائرة المطبوعة على سطح البنية التحتية، يجب وضع وضغط كل من قناع نمط الدائرة المطلوب طباعتها ومقاوم الضوء على سطح الورق النحاس على التتابع كما بالشكل السابق.



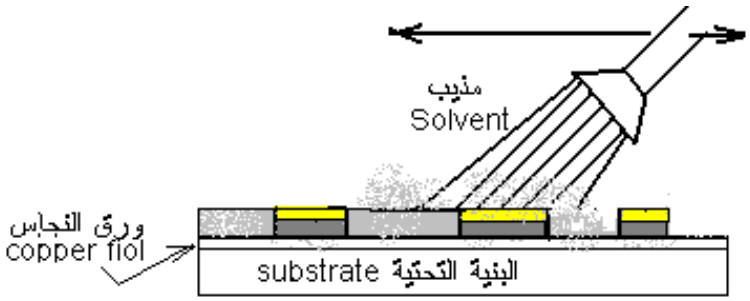
يرفع القناع، ويتم رش السطح بمحلول إظهار قلوي، حيث يحلل مقاوم الضوء الذي لم يتعرض للضوء، ويظهر ورق النحاس المثبت على البنية التحتية تحته.



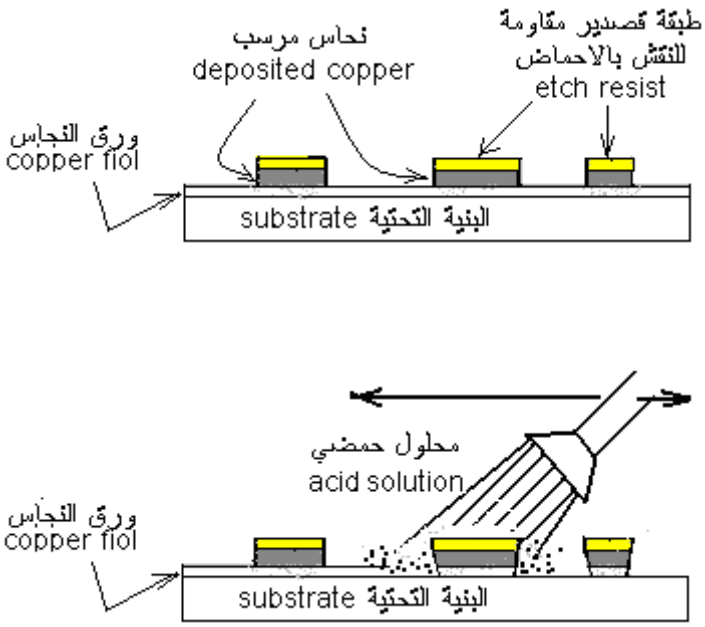
يتم اجراء عملية تصفيح كهربائي لترسيب طبقة من النحاس في مواضع نمط الدائرة بسمك معين



يتم غمس لوح الدائرة المطبوعة هذا في حوض قصدير منصهر وعند إخراجه من الحوض يتم تسوية سطح القصدير الملتصق بالنحاس المرسب فقط بواسطة سكينة كهربائية.



يرش مذيب على سطح اللوح لإذابة مقاوم الضوء الصلد والمتبقي تاركاً سطح ورق النحاس مكشوفاً



شكل رقم (٤-٣٥)

٤-١٣-٢-١ عملية كامل المضافِ Fully Additive Process:

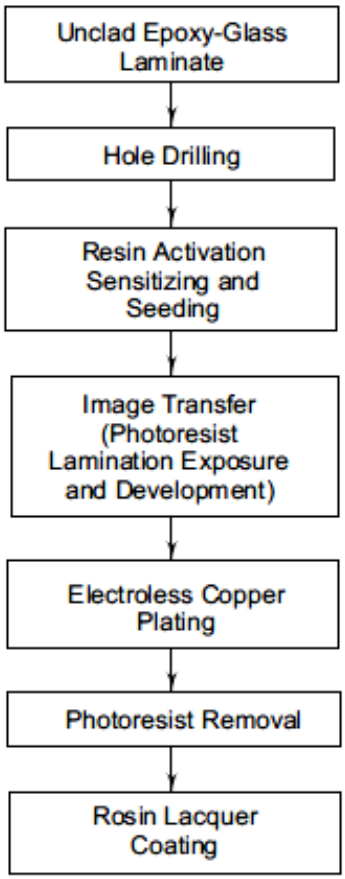
عملية كامل المضافِ لا تَتطلّبُ أيّ طَلاء كهربائي ماعدا متى تطلب تصفيح بمعدن ثمين في حالة مقابس الحافة edge connectors أو شرائط التماس contract tabs . الشكل رقم (٤-٣٦) يوضح عمليةَ التصنيع بطريقة كامل المضافِ. الخطواتَ الأساسيةَ المتبعة في هذه العمليةِ تم مُنَاقَشتها فيما يلي.

تَبْدأُ العمليةُ بالوح المدعوم الابوكسي epoxy laminate بدون نحاسٍ، لكن بالراتنجِ الكافي على السطحِ. بمجرد ثقب أو تخريم الفتحات، يتم الحكّ الميكانيكي للأسطح اللاصقةِ، على سبيل المثال، ينفذ الحَكّ بالحجرِ لتحقيق إلتصاقِ أفضلِ لمقاوم التصفيح plating resist. مقاومُ التصفيح مطبوع بالشاشةُ أَو مثبت للفيلم الجاف إلى السطحِ. تصبح الصورةَ عكس النمط الموصل.

بعد معالجة المساراتِ الموصلة المكشوفة بعامل تأكسد قوي مثل حامض الكبريتيك sulphuric Acid أو حامض الكروميك chromic acid ، يتم غمر لوح التشغيل panel في حمّامِ التصفيح النحاسي الغير كهربائي electroless، حتى ينجز السمك النحاسي المطلوبِ. حتى يصل السُمك الى أكثر من ٢٥ ميكرونِ، يصبح زمن الغمرِ أطولُ. الحمّاماتَ المطلوبة للتَزويد بمعدل تصفيح عالي ومقدرةٍ على الترسيب بقدر من النحاس أعلى بقدر الامكان. يحْدثُ التصفيح بشكل إنتقائي على المناطقِ التي لَيستْ مُغَطّاةَ بواسطة مقاوم الضوء photo-resist . حيث لا يكون هناك نقش للنحاسِ، مشكلة خَلْق قطع تحتي نتيجة لعيب عملية لا يَوجِدُ مطلقاً. بعد هذا، يمكن تطبيق عِدّة خطوات إضافية مثل طباعة مقاوم اللحام بالشاشة solder resist screening ومُعَالَجَة curing ، طلاء مَع كسوة قابلة للحام، وطلاء غمس dip coating مع سبيكةِ من القصدير–الرصاص لتحسين جودة اللوح.

ما يلي هو عبارة عن إختلافان أساسيان لعمليةِ كامل المضافِ:

- *العملية CC-4* عموماً مدعوَّة باسم المعقّد النحاسي #٤ باللغة الانجليزية copper complexer #4 ، يبدأ مَع لوح مدعوم أساسي سابق التحفيز pre-catalysed base laminate مغطى بأى مادة لاصقة والتي تكون أيضاً سابقة التحفيز. بينما تَسهيل إلتصاقِ المساراتِ النحاسيةِ إلى السطحِ المادي الأساسي تكون بواسطة وضع المضاف، يَعْملُ اللاصقُ أيضاً كمادّة عازلة. بعد ثقب الفتحاتِ في اللوح المدعوم ، يطبق مقاوم تصفيح النمط العكسي إلى سطحِ لوح التشغيل ويتم معالجته.
- تبدأ *العمليةِ المصنّفةِ seeded process* مع الألواح المدعومة الاساسية المغطاة بالصمغ، لكن لا اللاصق ولا اللوح المدعوم الاساسي سبق تحفيزه. بعد تنفيذ الفتحات، يتم غمر لوح التشغيل في عامل التأكسد القوي strong oxidizing agent ، ومحفز catalysed ومُجَفَّف. التحفيز catalysing يتم في محلول محفز يسمى Pd (Palladiumbased) مَع pH حيث تساوي تقريباً ٢٠ بالمائة من تركيزعملية PTH التقليدية. أسطح المضافَ يَجِبُ أَنْ تَكُونَ خالية من الفراغات voids وفروض nicks والحُفَر pits وطعجات dents . النُدَب الأعمق مِنْ ٢–٣ ميكرونِ غير مقبول.



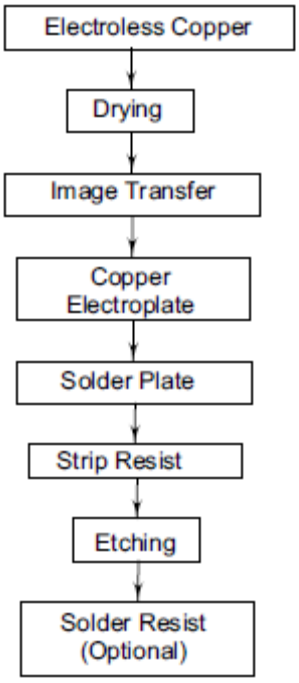
شكل رقم (٤-٣٦) يوضح عملية إضافة كاملة: معظم الخطوات في صناعة اللوح الثنائي الطبقات ذات الفتحات الخلالية المطلية الجدران PTH من اللوح المدعوم الابوكسي مع سمك كاف من الراتنج عند السطح.

نظام المضافَ additive system لَهُ عِدّة فوائد ويقدم العديد مِنْ الإمكانياتِ من أجل التطبيقِ. على سبيل المثال، تشكيلة واسعة من الألواح المدعومة متوفرُة. وهى تقدم ميزة التكلفة بينما هى لم تورد بورقِ النحاس الرقيق. إنّ المعالجة أسهلُ وتَتطلّبُ عملية بأقل خطوات. التوفير المخمن يقدر بحوالي من ١٠-٤٠ بالمائة. نوعية الواح الدوائر المطبوعة مجهزة بمعالجة المضافِ يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها عدد من البارامتراتِ المُحسَّنةِ. إنّ الطنفَ overhang والقطع التحتي undercut، التي تكون شائعة في طريقة النقش، غير موجودُة، بذلك يَسْمحُ لموصلات وأنماطِ أدقِ، وبالتالي دوائر

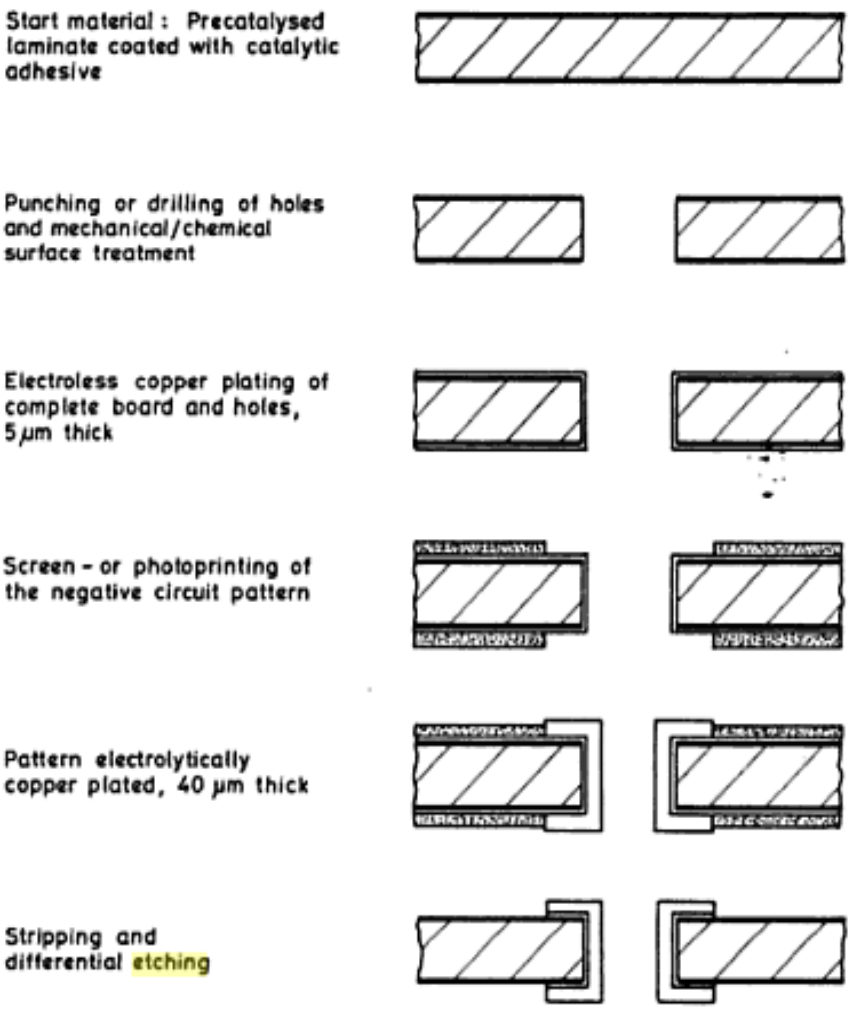
أعلى كثافة. هناك سيطرة أفضل لسُمكِ التصفيح على كامل النمطِ، تَضْمن داخل الفتحات وإتساق السُمكَ، الذي يَقدم إمكانياتَ جديدةَ في تطبيقاتِ التذبذب العالي.

٤-١٣-٢-٢ عملية الشبه مضافِ Semi-additive Process:

هذه العمليةِ (الشكل رقم٤-٣٧،٣٨) تبدأ بتوديعِ (ترسيب) النحاسِ في جميع أنحاء اللوح المدعوم laminate بواسطة عملية غير كهربائية electroless إلى السُمكِ المطلوبِ، الذي يساوي عموماً من ١.٥ إلى ٢ ميكرون. ومن ثم تنتقل الصورةَ على هذا اللوح بالطريقة التي فيها فقط النمط مرئي. هذا يتبع بتوديعِ (ترسيب) المزيد من النحاس على نمطِ الدائرةَ بطريقةِ الطَلاء. الطريقة لَها خطواتُ أكثرُ مِنْ عملية كامل المضافِ fully additive process ، ويَعاني أيضاً مِنْ المشاكلِ المتأصّلةِ للتصفيح الأليكتروليتي electrolytic plating مثل سمك التصفيح غير المستوي والتصفيح الأكثر من اللازمِ للفتحاتِ على المحيطِ الخارجي. فوائد الطريقةِ هى أنّ إستقرارِ النحاسِ الغير كهربائي electroless عالي وأقل استهلاك لمحلول النقش، عند مقارنته بحمام الغير كهربائي كامل المضاف fully additive electroless bath.



شكل رقم (٤-٣٧) يوضح خريطة عملية الشبه إضافة



شكل رقم (٤-٣٨) يوضح خطوات تنفيذ عملية شبه مضاف

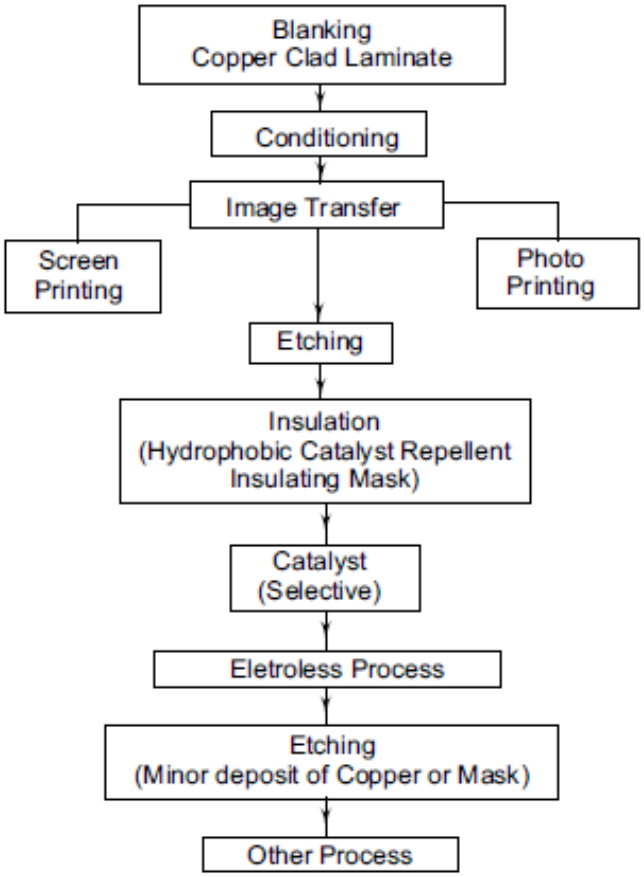
٤-١٣-٢-٣ عملية المضافِ بشكل جزئي Partially Additive Process:

هذه العمليةِ هى عبارة عن تركيبة من النقش etching والتصفيح الغير كهربائي electroless النحاسي. خطوات العملية الضرورية موضحة في الشكل رقمِ(٤-٣٩). تَبْدأُ العمليةُ مَع لوح مدعوم

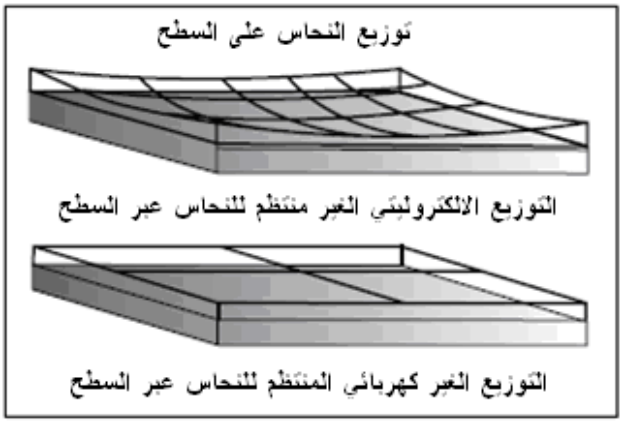
ذو قشرة من ورق النحاس الرقيق ٣٥ ميكرون . بعد ثقب وازالة رايش الثقب من محيط الفتحات للوح التشغيل deburred، يَمْرُّ بعملية التحفيز catalysation أَو التنشيطِ activation. وهى متبوعة بواسطة تطبيق مقاوم النقش resist etching بطريقة طباعة الشاشة أو الطباعة الضوئية photoprinting على كلا جانبي اللوح. أنماط الموصلات تصبح من ثمّ متكونة بالنقش وتَعْرِية المقاوم.

كامل السطحِ يتم طلاؤه بالشاشةُ، تاركاً الوسائد والفتحاتَ مكشوفة. ومن ثمّ يتم تغطيس لوح التشغيل في محلول التصفيح الغير كهربائي electroless النحاسي لتوديع (ترسيب) حوالي ٣٠ ميكرون من سمك النحاس على الوسائد وحوائط الفتحات. الطريقة لَها عِدّة فوائد عن عملياتِ المضافِ الأخرى، مثل الراحةِ لإستعمال اللوح المدعوم ذو القشرة النحاسية التقليديِ، مشكلاً موصلات الخط الدقيق fine line conductors أقل من ٨٠ ميكرون المنفذة بواسطة طريقة الطباعة بالشاشة، مشكلاً وسائد مربوطة بالسطحِ وبشكل موحّد وطَلاء فتحات خلالية بشكل موثوق (Patterson، 1992). ألواح الدوائر المطبوعة المصنعة بإستعمال هذه العمليةِ تُنجزُ كثافاتَ عمليةَ أعلى عنْ الألواح التقليدية لسببين: نقش الخَطِّ الرفيعِ (الدقيق) وتصفيح الفتحةِ الصغيرةِ بالنحاس بالطريقة الغير كهربائية electroless.

إنتاج الخط الرفيع Fine line للطبقاتِ الخارجيةِ يتكون تقليدياً من النمطِ أَو لوح تشغيل مصفح بطبقة سميكه، يتبع بالنقش. أمّا عملية تَعاني مِنْ مشاكلِ السيطرةِ على النقش بسبب التوزيعِ الغير مستويِ للنحاس المصفح بشكل إلكتروليتي electrolytically. هذا يتضح في الشكل رقمِ (٤-٤٠). الاكثر أو الاقل من نتائج القطع التحتي في أعراض واسماك الخط الذي يتغير مع السمك للنحاس المطبق. أيضاً، نقش الطبقاتِ الخارجيةِ تحت ٦ mils يعتبر صعبُ وغالي نتيجة للفقد المعطى. يعتبر النحاس الغير كهربائي Electroless المفتاحُ للسُمكِ النحاسيِ الموحّدِ، حيث يَسْمحُ للنقش الموحّدِ، أقل تغير في الخط وعطاء أعلى.



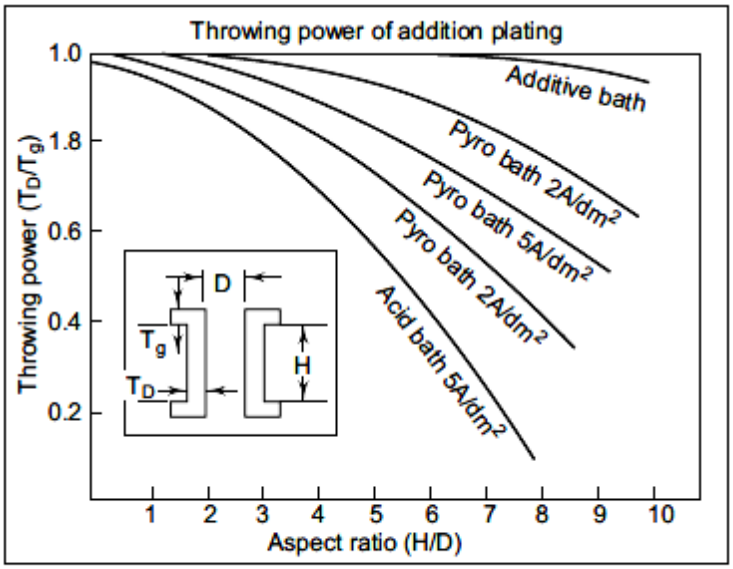
شكل رقم (٤-٣٩) يوضح خريطة عملية الاضافة الجزئية


توزيع النحاس على السطح
التوزيع الالكتروليتي الغير منتظم للنحاس عبر السطح
التوزيع الغير كهربائي المنتظم للنحاس عبر السطح

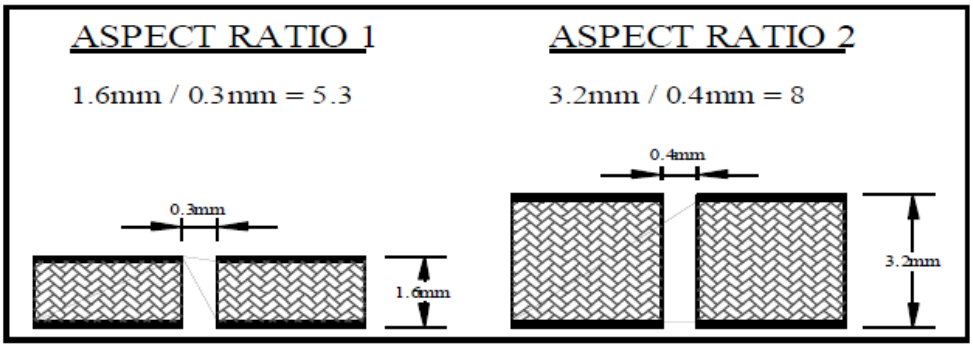
شكل رقم (٤-٤٠) يوضح التوزيع الموحد النموذجي للنحاس المرسب كيميائياً عبر السطح

ألواح الدوائر المطبوعة باستخدام تكنولوجيات المضاف موجودة في مدى المُنتَجاتِ مِنْ السياراتِ إلى الحاسبات (Nargi Toth 1994). إنّ إستعمالَ تقنياتِ المضافِ جذّابةُ جدا لألواح الدوائر المطبوعة هذه بترتيباتِ الدائرةِ المعقّدةِ التي تؤدّي إلى العطاءات المنخفضةِ low yields عندما يتم استخدام تقنياتِ الطلاء المعيارية. تَسْمحُ العمليةُ لإنتاجِ ألواح الدوائر المطبوعة بأقل مِنْ ٥ mil للخط والمباعدة بينهم، هندسة الدائرةِ المعقّدةِ والصغيرةِ (٨ mil)، نسبة الطول للعرض أعلى (٨:١) للفتحات الخلالية يُمْكِنُ أَنْ تبحث بالفعل.

نسبة الطول للعرض الأولية للفتحة ١٤ mil العارية، التي هى مقاس الفتحةِ المثاليِ المثقوبة في ألواح الدوائر المطبوعة ٤:١ (Nakahara، 1991). على إكمال التصفيح، واحد mil للنحاسِ في الفتحة، فإن نسبة الطول للعرض ستنموا إلى ٥:١. لطَلاء هذه الفتحةِ لنسبة الطول للعرضِ بشكل كهربي galvanically (خلال الطَلاء الكهربائي)، يسقط كثافة التيار مِنْ القيمة العاديةِ٢٥-٣٠ amps/sq ft. إلى حوالي ١٥ amps/sq. ft.

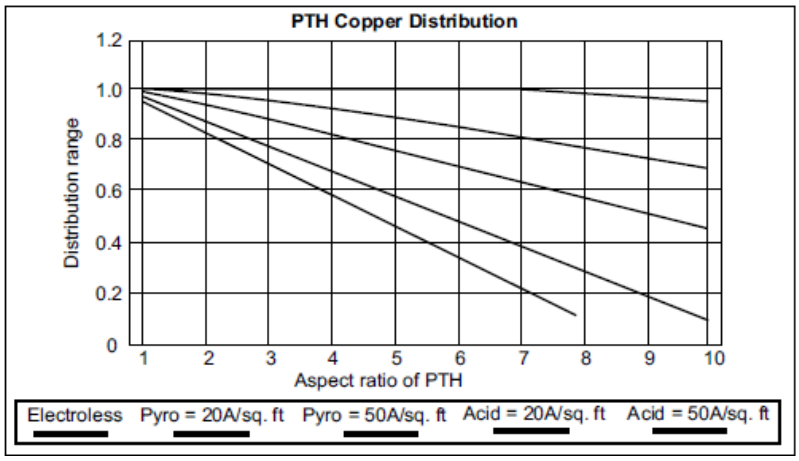


شكل رقم (٤-٤١) يوضح عملية الطلاء بالاضافة



شكل رقم (٤-٤٢) يوضح أمثلة لحساب نسبة الطول للعرض للفتحات المطلية الجدران

حتى بكثافةِ التيار المنخفضةِ هذه، من الصعب طَلاء إيداع (ترسيب) سميك بشكل موحّد، وهكذا يَبقي سطح مستوي عبر كامل لوح التشغيل، خصوصاً مع تصفيح النمطِ. بِالمقارنة، عملية المضاف، بقدرة رَمي ممتازةٍ لها (الشكل رقم ٤-٤١،٤٢) في الفتحاتِ الصغيرةِ وفي غيابِ أيّ مجال للتيار، عمليات تغير الترسيب ٣-١٢ بالمائة. هذا الاستواء flatness على لوح تشغيل أبعاده ١٨ × ٢٤ بوصة تُؤدّي إلى خصائصِ النقش الممتازةِ. نسبة الطول للعرض الأعلى في نتائج الطَلاء في أعظم عدم إتساق في سُمكِ حائطِ الفتحةِ النحاسيِ، كما هو مبين في الشكل رقمِ (٤-٤٣). هذا يُترجمُ إلى الثقةِ السيّئةِ. يرسب التصفيح النحاسي الغير كهربائي Electroless سُمك نحاسي موحّد بغض النظر عن عمقِ أو قطرِ فتحةِ.



شكل رقم (٤-٤٣) يوضح كلما كانت نسبة الطول للعرض للفتحات المطلية الجدران أعلى، تعاظم عدم الانتظام في سمك نحاس حائط الفتحة.

الباب الخامس

قناع اللحام
Solder Mask

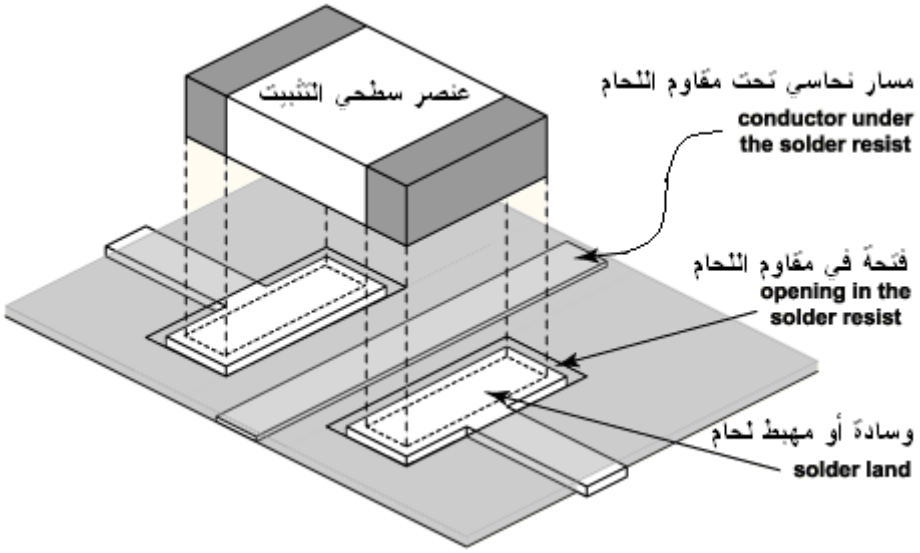
الباب الخامس

قناع اللحام
Solder Mask

٥-١ مقدمة :

أي قناع لحام Solder mask أو قناع إيقاف اللحام solder stop mask أو مقاوم اللحام solder resist هو عبارة عن غطاء مستَعملُ لإخْفاء أَو حِماية المسارِ النحاسيِ الغير مقصدر مِنْ التدمير أو التلوث الكيمياوي أوالاحتكاك الميكانيكي الذي قَدْ يَحْدثُ مِنْ فعل النقش أو مركب الحفر etchant، أو اللحام solder أَو التصفيح (الطلاء المعدني) plating. يَخفي قناعُ اللحام أيضاً مناطق مِنْ سطح لوح الدائرة المطبوعة ويَمْنعُ تلك المناطقِ من قفلات اللحامsolder shorts أثناء اللحام الموجي wave soldering (مرحلة البخارِ أَو عمليةِ اللحام بالموجةِ).

مثل هذه الأقنعةِ تعتبر شاشة مطبوعة على نمط الدائرة وتكون سميكة بحوالي ٠.١ ميكرون. وبالإضافة، يعطي قناعَ اللحامَ أيضاً الحماية البيئيَة للمسارِ، ويَقوم بفْعلُ المانعِ العَازْل بين البطاقاتِ المَوْضُوعةِ مباشرةً ويَمْنعُ تضرر اللوح من الإتساخات، وبصمات الأصابع، الخ. على أية حال، الوظيفة الأساسية لقناع اللحامِ هو تقييد اللحامِ من الإلتقاط أو الانسياب خلال المناطق الممنوعة من لوح الدائرة المطبوعة، مثل الفتحات، والوسائد، وخطوط الموصلات الغير مغطاة بمقاوم اللحام.


عنصر سطحي التثبيت
مسار نحاسي تحت مقاوم اللحام
conductor under the solder resist
فتحة في مقاوم اللحام
opening in the solder resist
وسادة أو مهبط لحام
solder land

شكل رقم (٥-١) يوضح قناع اللحام على نمط دائرة مطبوعة لعنصر تثبيت سطحي

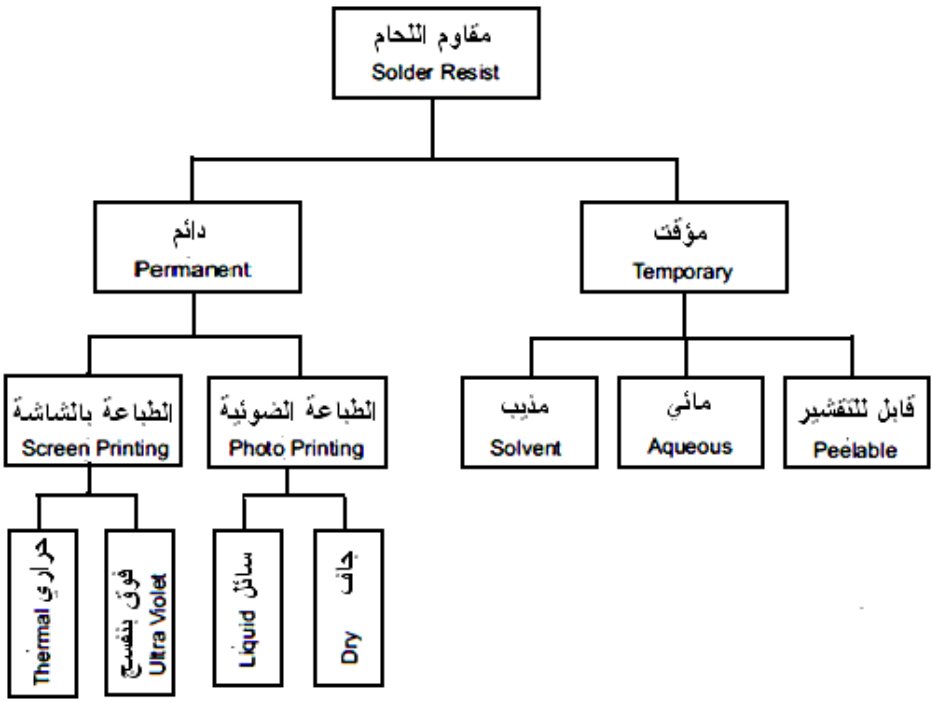
عامة قناعَ اللحامَ يُتوقّعُ منه إداء المزيد مِنْ الوظائفَ عن أنه فقط يقيد إلتقاط اللحام وهذه الوظائفِ هى:

- خفّضْ تقنطر اللحامِ وحدوث القفلات الكهربائيةِ؛
- خفّضْ حجمَ إلتقاط اللحام أثناء اللحام بالموجةِ وبذلك يُخفّضُ الوزنَ والتكلفة؛
- يعطي الحمايةَ البيئيةَ للمسارِ؛
- يقوم بفعلْ المانعِ العَازْل بين المساراتِ المَوْضُوعةِ عن قرب؛
- منع تضرر لوح الدائرة المطبوعة مِنْ الاتساخات، وبصمات الأصابع، الخ. ؛ و
- خفّضْ تلوّثَ قدرِ اللحامَ أثناء لحام الموجةِ.

٥-٢ تصنيف مقاوم (قناع) اللحام
:Solder Resist Classification

يُصنّفُ مقاوم اللحام بشكل واسع إلى نوعين:

- مقاوم اللحام المؤقت Temporary solder resist؛ و
- مقاوم اللحام الدائم Permanent solder resist.



شكل رقم (٥-٢) يوضح أنواع مقاوم اللحام

الشكل رقم (٥-٢) يوضح الأنواعَ المُخْتَلِفةَ لمقاومات اللحام المؤقتِ والدائمِ. مقاومات اللحام الدائمة يتم تطبيقيها امّا بطريقة الطباعة بالشاشةِ أو طريقةً الطِباعَة الفوتوغرافيةِ (الضوئية). نوع قابلية الطباعة بالشاشة يُمكنُ أَنْ يَصنف إلى قابلية العلاج بالحرارة thermal curable وقابلية العلاج بالضوء فوق البنفسجي ultraviolet curable. طريقة الطباعة الضوئية photoprinted يُمْكِنُ أَنْ تستعملَ أمّا قناع لحامِ فيلمي سائلِ liquid film solder mask أَو قناعِ لحامِ فيلمِي جافِ dry film solder mask . يمكن تصنيف مقاومات اللحام الدائمة على اساس كيميائي مستخدم لتطوير المقاوم.

٥-٢-١ المقاوم المؤقت Temporary Resist:

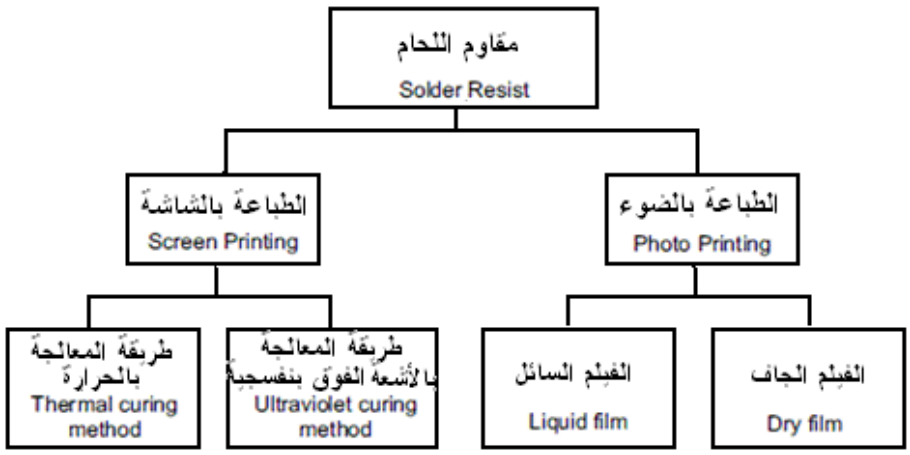
هذه المقاومات مستعملة بشكل مؤقت أمّا لمَنْع اللحام من الوصول لبَعْض الفتحاتِ أو مقابس الحافة المصفحة بالذهب لألواح الدوائر المطبوعة أثناء عمليات اللحام بالموجةِ أَو لمَنْع بَعْض الفتحاتِ مِنْ أن تصبحُ مسدودة باللحامِ وبذلك يحفظ هذه الفتحاتِ من إدخالِ العنصر يدوياً في مرحلة متأخرة.

٥-٢-٢ المقاوم الدائم Permanent Resist:

هذه المقاومات تطبق بشكل دائم على سطحِ لوح الدائرة المطبوعة ويُشكّلُ جزء مكمّلَ للوح الدائرة المطبوعة. الكيمياء والمطلب لهذا الإخفاء الدائم لمادة اللحام تحمل التغير الضخم بمدخل تكنولوجيا العناصر المثبتة سطحياً وأيضاً بسبب حقيقة أنّ المباعدة بين الموصلات تهْبطُ يوماً بعد يوم. بزيادة التعقيد لمجموعةِ الدوائر، اصبحت تكاليف الفحص وإعادة التشغيل (الصيانة) في تزايد مستمر. عملية إخفاء اللحامِ solder masking إلى حَدّ معين تُخفّضُ هذه التكلفة عموماً بواسطة خفض تَقنطر اللحامِ وقفلات الدائرةِ. أيضاً، اخفاء اللحام يعمل على زيادة الحمايةِ البيئيةِ لألواح الدائرة المطبوعة.

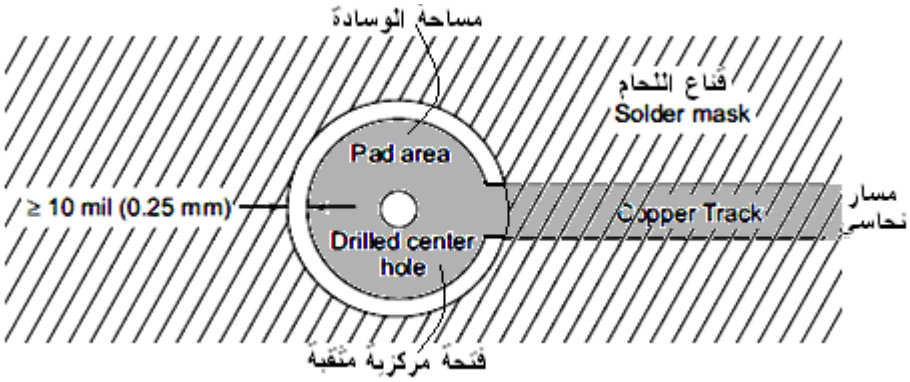
٥-٢-٣ تطبيق قناعِ اللحامِ Solder Mask Application:

يطبق قناعُ اللحام solder mask أَو مقاوم اللحامَ solder resist أمّا بطريقة الطِباعَة بالشاشةِ screen printing أَو طريقةِ الطباعة الضوئية photoprinting. الشكل رقم ٥-٣ يوضح أنواعَ تطبيقاتَ مقاوم اللحام.



شكل رقم (٥-٣) يوضح أنواع تطبيقات مقاوم اللحام الدائم

قناع اللحامَ للوسائد pads أَو أطراف الهبوط lands المستخدمة لتثبيت العناصر ذات الاطراف المثبتة خلال الفتحات المصمّمة لتسمح لخلوص على الاقل مقداره ٠.٢٥ مليمترٍ حول الوسادةِ، وبمعنى آخر: حافة الوسادةِ سَتُغطّي بواسطة قناع اللحامَ. هذا يظهر في الشكل رقمِ (٥-٤).



شكل رقم (٥-٤) يوضح مقاوم اللحام وهو يغطي المسار النحاسي ويظهر الوسادة أو مهبط طرف العنصر

٥-٣ قناع اللحامِ ذو الفيلمِ السائلِ Liquid Film Solder Mask:

التكوين السائلَ أَو المعجون لقناعَ اللحامِ هو أحد الأنواعِ المبكرة لأقنعة اللحام المستخدمة. وهو يطبق عموماً بواسطة عمليةِ الطِباعَة بالشاشةِ. انتظام مادة التغطية (مادة قناع اللحام) في عملية الطباعة بالشاشة محكوم بشكل كبير بالحفاظ على لزوجة واتساق هذه المادّةِ أثناء التطبيقِ. لمادتى عنصرين، نوعية أو جودة المذيبات solvents المتبقية والخَلِيْط الصحيح مِنْ المكونين مهمين لإنْجاز والإبْقاء على سمك تغطية محدد. إذا كانت هذه البارامتراتِ مسيطر عليها مباشرةً وبطريقة محكمة فقط، فإنه من المحتملُ إنْجاز الإتساقِ في الخصائص الكيميائيةِ والطبيعيةِ لقناع اللحامِ متى تم تطبيقه على لوح الدائرة المطبوعة. هذه البارامتراتِ حيوية إذا كانت الخصائص المطلوبةِ الكهربائية لقناعِ اللحامَ سَتُنجَزُ عَلى نَحوٍ قابل للإنتاج.

إذا كان الفيلمِ السائلِ يَجِبُ أَنْ يُطبّقَ على لوح الدائرة المطبوعة التي تم تهيئتها بواسطة الطَلاء الكهربائي لمقاوم معدني، فإنه يجب اتباع الخطوات العمليةِ التاليةِ:

- انزع مقاوم المعدنَ (قصدير / قصدير–رصاص)؛
- تشطيف ماءِ وتجفّيفُ؛
- التنظيف الميكانيكي؛
- تشطيف ماءِ وتجفّيفُ؛
- النقش الدقيق لزيَاْدَة الإلتصاقِ؛
- تشطيف ماءِ وتجفّيفُ؛
- الطباعةِ بالشاشةِ لمقاوم الضوء السائل؛ و
- العلاج الفوق بنفسجي أَو الحراري.

٥-٤ قناع اللحام ذو الفيلم الجافِ Dry Film Solder Masking:

مقاوم اللحام ذو الفيلمِ الجاف، على خلاف السائلِ أَو المعجون، ولكنه على شكل فيلم البوليمر الضوئي photopolymer. هذا الفيلمِ محصورُ بين طبقتين واقيتين، تَمْنعانِ المستحلب emulsion من أَنْ يصبح مدمراً أثناء عمليةِ المعالجة. الخطواتَ التالية هي خطوات تفصيلية لتَطبيق قناعِ اللحام ذو الفيلمِ الجاف.

٥-٤-١ التحضير السطحي:

في هذه المرحلةِ، المقاوم المعدني للقصدير/للقصدير–الرصاص، الذي يكون مَوْضُوعُ على السطحِ، يتم تعريته ويتم غسل السطح بالماءِ والتجَفَّيفِ كليَّةً. السطحَ النحاسيَ من ثمّ يخضعَ إلى سلسلة من مراحل التنظيف مثل:

- تفكيك الدهون بمنظفِ قلويٍ ساخن؛
- تشطيف بالماءِ؛

- الحفر أو النقش الدقيق للنحاس بمقدار ١ إلى ٢.٥ ميكرونِ؛ هذا يُعْمَلُ على زيَاْدَة إلتصاقِ الفيلم البوليمر الضوئي الجافِ على السطحِ؛
- فتّشْ للإزالةِ الكاملةِ للقصدير / القصدير–الرصاص؛
- تشطيف بالماءِ؛
- أغمر في ١٠ بالمائة من حامضِ كبريتيك لفترة زمنية ١ إلى دقيقتين؛
- تشطيف بالماءِ؛
- التنظيف القاسي [فرشاة خشنة و/أو الحك بالحجرِ]؛ و
- التشطيف بالماءِ تحت ضغطِ عالي ثم التجفّيفُ.

الأكسدة النحاسية المحكومة بالأكسيدِ البني brown oxide أَو الأكسيدِ الأسودِ black oxide مستعملان لزيَاْدَة قدرة إلتصاقِ فيلم قناعِ اللحامَ الجاف على السطحِ. معالجة الأكسيدَ يجب أنْ تكون محكومة للحصول على أى سُمكَ أكسيدِ مقداره من ٠.٥ ميكرون إلى ١.٠ ميكرون. إذا كان اللوح المُؤكسَد مَخْزُون لوقت طويل، فإنه يَجِبُ أَنْ يَكُونَ السطح كليَّاً مفكك الدهون قبل تثبيت الطبقة lamination .

٥-٤-٢ تجفيف قَبْلَ تثبيت الطبقة Pre-lamination Drying :

الماء الممتص وبقايا الماءِ هى بعض الأسبابِ الأكثر تكراراً لظهور البثور blisters وفك تثبيت طبقة de-lamination الفيلم. ولذا كان من الضروريُ إزالة الماء المتبقي مِنْ أسطح اللوح والفتحات. يجب أنْ يُزالَ الماء بإستعمال وحدة نافخ ذات ضغطِ عالي مِنْ السطح والفتحاتَ. يمكن أيضاً استخدام سكين هواء حجمِ عالي لهذه الخطوةِ.

ويجب الاشارة هنا إلى ضرورة التخلص من الرطوبة الممتصة وذلك بتحميص اللوح لفترة زمنية مقدارها من ١٥ إلى ٢٠ دقيقةِ في درجة حرارة مِنْ ١١٠± ١٠ سنتيجراد. أفران الاشعة تحت الحمراء ذات السيور Conveyorized يُمْكِنُ أيضاً أَنْ تستخدم للتجفيف عند درجة حرارة من ٨٠ إلى ١٢٠ سنتيجراد لفترة زمنية مقدارها ٣٠ ثانيةِ. تَتطلّبُ ألواحُ الموادِ الأساسيةِ المختلفةِ والسُمكِ المختلفِ أزمنة تَجفيف مختلفةِ. التحميص المفرط في الزمن ودرجةَ الحرارة يَجِبُ أَنْ نتفاداه لأنه يَزِيد من أكسدةً النحاس وقَدْ يؤدي إلى الإلتصاقِ السيّئِ.

٥-٤-٣ تثبيت الطبقة Lamination :

يَضْمنُ تثبيت الطبقة بالتفريغ Vacuum lamination تغليف كُلّ خطوط الموصلات كلياً بقناع اللحامِ البوليمر الضوئي photopolymer مع خلو الألواح من الجيوب الهوائية.

٥-٤-٤ إختيار عرضِ الفيلمِ
Selection of Film Width :

الأعراض الصحيحة للفيلمِ الجافِ يَجِبُ أَنْ تَختَارَ بالإعتِماد على عرض لوح التشغيل panel. عرض الفيلمِ لا يَجِبُ أَنْ يَكُونَ أكثر مِنْ ١٠ مليمترِ مِنْ عرض لوح التشغيل لتجنّبْ تهدير وتهذيب الحافة. تثبيت الطبقة يُمْكِنُ أَنْ يتم أمّا على كل من الجانبين في نفس الوقت أَو على أحد الجانبين بالتتابع بالإعتِماد على نوعِ وحدة تثبيت الطبقة واستخدام الفيلم.

٥-٤-٥ الانتظار فترة زمنية بعد تثبيت الطبقة
Hold Time after Lamination:

الانتظار فترة زمنية بين تثبيت الطبقة والتعرّيضِ يَجب التحكم فيهما بعناية للحصول على النَتائِجِ الامثل. فوراً بعد تثبيت الطبقة، طاقة التعرّضِ المطلوبةِ منخفضةُ وتزداد بسرعة خلال زمن الانتظار، والإستِواء بقيمة ثابتة. لِذلك فإن زمن الانتظار ما بَعْدَ تثبيت الطبقة يَجِبُ أَنْ يُبقي بشكل ثابت لكي يَتفادى الإختلافَ في زمن التعرّضِ مِنْ قطعةِ إلى قطعةِ.

٥-٤-٦ التعرّض (من خلال الأدوات الفوتوغرافية)
Exposure (Photo-tools):

عموماً، أفلام قناعِ اللحام البوليمر الضوئي photopolymer يعتبرعَمَل سلبيَ ولِذلك يتطلب أداة فوتوغرافية إيجابية (في مناطق الوسادةِ البليدةِ) للتعرّضِ. ونتيجة لمستويات الطاقةِ العالية المطلوبةً، يجب أن تكون الأدوات الفوتوغرافية لديها كثافة عالية جداً. Dmax>4 كحَدّ أدنى لتَجَنُّب قناع اللحام على الوسائد بينما المناطقِ النظيفة يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها Dmin<0.15. حيث أن كثافةِ الفيلمِ يُمْكِنُ أَنْ تَتفاوتَ أو تتغير بالإستعمالِ، فإن الأدوات الفوتوغرافية يجب أنْ تفحص بشكل دوري للتأكد من أن Dmax 4 أدنى كثافة.

النَتائِج الامثل نحْصلُ عليها عموماً ب٧ mil من مستحلب أحادي الجانب من افلام diazo . في حالة أنظمة التسجيلِ registration systems التي لا تَتطلّبُ رُؤية خلال الوسائد، فإنه يمكن استخدام فيلم هاليد فضّي silver halide film بالمستحلبِ المتماس بشدة مع اللوح لكي نحْصلَ على التعرّضِ الصحيحِ وتعريف الحافة. الاداة الضوئية أو الفوتوغرافية phototool أيضاً يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها مناطق وسادةِ بليدةِ دنيا بحوالي ٠.١ مليمترَ إلى ٠.١٥ مليمترِ أكبرِ في القطر مِنْ اطراف الهبوط lands على لوح الدائرة المطبوعة.

يتم تأسيس ومراقبة زمن التعرّضَ والدرجةَ الناتجة للبلمرة consequent degree of polymerization بإستعمالِ stouffer 21 steps tablet. لكي يُؤسّسَ قيم صحيحة للتعرّضَ، وزمن الانتظار hold time وشروط الإظهار يَجِبُ أَنْ تَكُونَ ثابتةَ. خطوةَ stouffer للتثبيت مُعَرَّفةُ كالخطوة الأخيرة بأكثر مِنْ ٥٠ بالمائة تغطيةً للمقاوم. أي زمن انتظار ثابتِ مطلوب للسَماح لعملية البلمرة polymerization ان تُكتمَلُ وتسْتقِر.

٥-٤-٧ الإظهار Developing :

تَجْرفُ عمليةُ الاظهار المقاوم الغير معرض (غير مُبَلمَر) مِنْ سطحِ اللوح. زمن الاظهار لنوع معيّن للمبلمر الضوئي photopolymer يَعتمدُ على نوعِ الكيمياءِ المهيئة. أزمنة الاظهار الصحيحةَ مُؤَسَّسة بواسطة التحكم عند النقطةَ التي يتم فيها تجريف الفيلمِ الغير معرض كليَّاً. الإزالةُ الشاملةُ لمقاوم اللحامِ من خلال الفتحاتِ والوسائد مطلوبة لإنْجاز قابلية لحام solderability جيدة. الكيميائيات chemistries المستعملة عموماً هى: (a) اظهار مائي aqueous developing ، و(b) اظهار مذيب Solvent developing .

في الاظهار المائيِ aqueous developing ، عموماً محلول مخفف من كربوناتِ الصوديومِ بنسبة ٩٩ بالمائة ماءِ نقي مستعملُ عند درجة حرارة مقدارها ٤٥ سنتيجراد. بهذا المحلول، يَجِبُ إظهار لوح الدائرة المطبوعة بشكل كامل في مدى من ٤٠ إلى ٦٠ بالمائة مِنْ طولِ الغرفةَ. في الاظهار بالمذيب solvent developing، يُستَعملُ tricholoroethane 1-1-1 و نقطة الانهيار break point يَجِبُ أَنْ تُوْضَعَ عند ٢٥ بالمائة مِنْ الطولِ الكليِّ للغرفةِ (التجويف).

٥-٤-٨ التجفيف Drying:

لكي يتم انجاز نَتائِجَ مُعَالَجَة ثابتةِ، يجب أنْ تُجفّفَ الألواح كليَّاً بعد الاظهار. وتمتص الرطوبة بواسطة المقاوم resist والمادّةِ الأساسيةِ base material أثناء الاظهار وخطوات الشَطْف يجب أن تزال بالكامل بالتَجفيف عند درجة حرارة ٩٠ سنتيجراد لفترة زمنية مقدارها ١٥ دقيقةِ أَو بإستعمال سكاكين الهواءِ الساخن.

٥-٤-٩ المُعالَجَة Curing :

المُعَالَجَة الصحيحةُ لمقاوم البوليمر الضوئي photopolymer هو وجوب إنْجاز أداءِ اللحام الامثل ولمَنْع نزع القناعِ أثناء اللحام الموجي wave soldering أَو لحام مرحلةِ البخارِ vapour phase soldering .

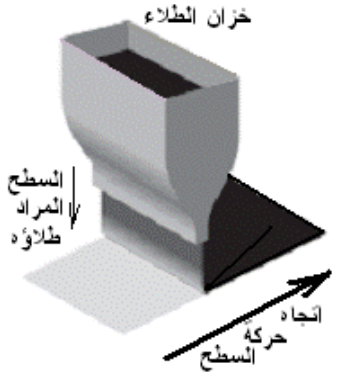
المعالجة بالاشعة الفوق بنفسجية Ultraviolet (UV) curing لقناعِ اللحام البوليمر الضوئي photopolymer يُمْكِنُ أَنْ تتم في ماكينات المُعَالَجَة التقليديةِ التي تَستعملُ مصابيحَ بخارِ زئبقِية. ويمكن التحكم في مستويات الطاقةِ المطلوبةِ بالسَيْطَرَة على سرعةَ السيور الناقلة وكثافةِ المصباحَ. وهو مفضّلُ لإعْطاء الطاقةِ الكافيةِ لمُعَالَجَة جانبِ واحد بالكامل في مرور واحد. مصابيح UV يَجِبُ أَنْ تَكُونَ ذات قدرة مقدارها ٢٠٠ وات/بوصة وذات بخارِ زئبقِي عالي الضغطِ. ونتيجة لأن الحرارةِ مِنْ المصابيحِ الفوق بنفسجيةِ تَلْعبُ جزء مكمّلَ في عمليةِ المُعَالَجَة، فإن هناك وحدات فوق بنفسجية للتبريد صمّمتْ لتَقليل الحرارةِ التي تصِلُ الألواحَ لَمْ يُوصي بها. المُعَالَجَة بالاشعة فوق البنفسجية مَع درجة حرارة سطحيّة لأقل مِنْ ١٠٥ سنتيجراد تؤدّي إلى نَتائِجِ متناقضةِ في أغلب الأحيان. العناية يَجِبُ أيضاً أَنْ تُؤْخَذَ في أَنْ لا تُسخّنَ سطحَ لوح الدائرة المطبوعة بإفراط أثناء المُعَالَجَة بالاشعة الفوق بنفسجيةِ. درجة الحرارة المثالية يَجِبُ أَنْ تكُونَ من ١١٠ C° إلى ١٤٠ C°. التدفئة أو التسخين المفرط سَيؤدّي إلى أن يصبح البوليمر الضوئي photopolymer هشّ وقوي جداً مِنْ السطحِ.

في المعالجة الحرارية، الأفران المستخدمة لتحميص الألواحِ يَجِبُ أَنْ تكُونَ قادرة على التحكم في درجةِ الحرارة بانتظام في كافة أنحاء الغرفةِ وهذه الأفرانِ لا يَجِبُ أَنْ تكُون مستعملة لأغراضِ أخرى لكي تعمل على منعْ تلوّثَ قناعِ اللحامَ.

يجب أن تكون الأفران المستخدمة في عملية التحميص مزودة بفتحة هواء نقي حيث أن الهواءِ الساخن قَدْ يُتكثّفُ على السطح مما يؤدي إلى خفّضُ قابلية اللحام solderability. إذا لم يكن هناك تخفيف للهواءِ، فإن الهواء الساخن قَدْ يَصِلُ درجةَ حرارة خطرةَ بشكل إنفجاري. للفرنِ الّذي سَيُشغّلُ بأمان وبدون مشكلةِ، يَجِبُ أَنْ يكونَ لديه وحدة توقيت محكومة بشكل حراري ومسجّل لدرجةِ الحرارة، ومروحة دوارة للحصول على التدفئة الكافية في كافة أنحاء الغرفةِ بقناةِ عادمِ بالنافخِ.

قناعَ اللحام ذو الفيلمِ الجافِ dry film solder mask، المصنّعُ تحت شروطِ محكومة يعطي سمك موحد وتطبيق هذا الفيلمِ باستعمال وحدة تثبيت طبقات بالضغطِ العاليِ high pressure laminator، يَضْمنُ إتساقاً في كافة أنحاء مساحة لوح التشغيل. هذا يَسْمحُ له أيضاً بالحفاظ عليه بسهولة مِنْ مرحلة دفعةِ انتاج batch إلى دفعة انتاج.

عمليةَ الطِباعَة بالشاشةِ وطلاء الستارةِ curtain coating كما بالشكل رقم (٥-٥) كلاهما عمليات أحادية الجانب single-sided. بمعنى آخر، تطبيق قناعِ اللحامَ يُمْكِنُ أَنْ يُعْمَلَ فقط على جانب واحد عند أى وقت واللوح يَجِبُ أَنْ يحمص لمنع تشرب tackiness الحبرِ قبل أن يطبعُ على الجانبِ الآخرِ، الذي يُشكّلُ مشكلةَ الحفاظ على الجانب الثاني نظيف لوقت طويل. بإستعمال وحدة تثبيت طبقات مفرغِ vacuum laminator، يمكن أن يطبق الفيلم الجاف على كل من الجانبين بشكل آني.



شكل رقم (٥-٥) يوضح طريقة طلاء الستارة

٥-٥ خصائص هامة لأقنعة اللحام :

٥-٥-١ درجة التحليل أو الوضوح Resolution:

يعطي قناعَ اللحامِ القادر على التصوير الضوئي Photo-imageable solder mask إمكانيةَ التقدم بقناعِ اللحامَ إلى المنطقة القريبةِ جداً لوسادةِ اللحامَ بدون مشكلةِ النزفِ للخارج والاحتراق نتيجة اللحام bleed-out and smear، وهى المشاكل الشائعة عموماً بأحبار قناع اللحام ذو الطباعة بالشاشة التقليدية.

يتم كشف نظامَ قدرة التصوير الضوئية photo-imageable system مَع فيلمِ رئيسي إيجابيِ positive film master تحت الإشعاع الفوق بنفسج كما في حالة قناعَ اللحامِ ذو الفيلمِ الجاف. في نظامَ الفيلمِ الجاف، يُمْكِنُ أَنْ يُنجَزَ هذا بشكل موثوق مع الإزالة النظيفة لحبرِ قناعِ اللحامَ مِنْ وسادةِ اللحامَ.

يقدم قناعَ اللحامِ القادر على التصوير الضوئي Photo-imageable solder mask درجة وضوح عاليةِ high resolution حيث سيكون سُمكِ الطلاء في حدود ٤٠ ميكرونِ فقط بينما في حالة قناع اللحام ذو الفيلم الجاف، سيكون سمك الطلاء أدنى مِنْ ٥٠ ميكرونِ ولدرجة أكبر في حالة بَعْض تصميمات اللوح الذي يستدعي النحاسِ الأثخنِ أو الاكثر سمكاً. على أية حال، درجة الوضوح أو التحليل لقناع اللحام السائل ذو القدرة على التصوير والمعروف باللغة الانجليزية LPISM (liquid photo-imageable solder mask) يَحتاجُ لفترة زمنية طويلة من التعرّضِ، والذي يَستوجبُ منطقة حماية أكبر حول وسادةِ اللحامَ لتَفادي مشكلةِ تداخل القناعِ على الوسادةِ. نفس المشكلةِ تُصادفنا أكثر بكثير في حالة قناعَ اللحام القادر على الطباعة بالشاشةِ التقليديةِ conventional screen printable solder mask عن طريق التسجيلِ أو التدوين بين قناع اللحام soldermask ووسادة اللحامَ حيث لا يُمكنُ أَنْ يكُونَ ١٠٠%، بسبب التَدلّي المتأصّلِ المرافق بشبكةِ الشاشةَ، الذي يُؤدّي إلى إنتهاكِ وتداخل قناعِ اللحامِ على منطقة وسادةِ اللحامَ.

٥-٥-٢ الكبسلة – التغليف Encapsulation

الكبسلة أو التغليف الطلائي encapsulation الكامل لنمطِ الدائرةَ بقناعِ اللحامَ مطلوبُ مِن قِبل كُلّ مستعملو لوح الدائرة المطبوعة. ومما لاشك فيه أن هذا الطلب يُصبحُ حرج عندما تكون مجموعةَ الدوائر أكثر كثافة. تتطلب المواصفات قناع لحام ذو سُمك أدنى مِنْ ٢٥ ميكرون على نمطِ الموصلات عند أي نقطة على لوح الدائرة المطبوعة. امتداد موضوع الكبسلة encapsulation يحدد أيضاً درجة العزلِ الكهربائيِ بالإضافة إلى المقاومةِ ضد الهجوم البيئي.

في موضوع أحبار قناع اللحام المطبوع بالشاشة، تَعتمدُ درجةَ الكبسلة encapsulation مباشرة على إختيارِ شبكةِ الشاشةَ، ولزوجة الحبر، ودرجة الحرارة وسرعة الطِباعَة. إذا كان هناك إختلاف في إرتفاعِ الموصل (المسارات النحاسية)، فإن درجةَ الكبسلة encapsulation تتغير أيضاً. قناع اللحامِ السائل المطبق قَدْ يوضح شكل تغطية اتجاهية قوية. لكن في حالة الفيلم الجاف سابق التكوين، نجد أن درجة الكبسلة encapsulation المنجزة ستكُونُ موحّدة في كافة أنحاء اللوح، بشرط عدم زيادة ارتفاع الموصل عن سمك الفيلم الجاف. يُمْكِنُ الحصول علي أدنى كبسلة encapsulation من ٢٥ ميكرون في كافة أنحاء سطحِ لوح الدائرة المطبوعة بإستعمال الفيلمِ الجافِ.

مواد قناعِ اللحامِ (فيلم سائل وجاف) تؤول إلى تَغليف عناصر الدائرةِ التحتيةِ بشكل كلي وحِمايتها مِنْ سماتِ التآكل في بيئةِ التشغيل. ولكي نحصل على هذا بقناع لحام فيلم جاف يَجِبُ أَنْ تَختار فيلم سميك بدرجة كافية لينساب أعلى وحول الوسائد والمسارات لدائرتِكَ أثناء تثبيت الطبقة وهناك قاعدة تجريبية جيدة للاستخدام، هو أَنْ تختارَ فيلم سمكه يكون على الأقل مرّتين من ارتفاع النحاسِ المطلوب تغطيته. بالنسبة للشروطِ الأكثرِ عملية، إذا قمت بتغطية قشرة نحاسية واحد أونسَ (٣٥ ميكرون)، فإنه يَجِبُ أَنْ تَستعملَ فيلم سمكه على الأقل مرّتين من السمك ٠.٠٠١٣ " لطبقة النحاس. لهذا التطبيق، سَيُفضّلُ الفيلم ذو السمك ٣ mil (٣ ٠،٠٠"). الفشل نتيجة لإتّباع هذه القاعدةِ البسيطةِ قَدْ يؤدّي إلى فجواتِ شعريةِ رفيعة على طول حواف الوسائد والمسارات النحاسية. هذه الفجوات تكون حوالي في حجم الفتيلةِ، وتحتفظُ بمساعد اللحام الآكلِ المستعملَ أثناء اللحام باليد أو بالموجة، الذي يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى الفشلِ النهائيِ للوح.

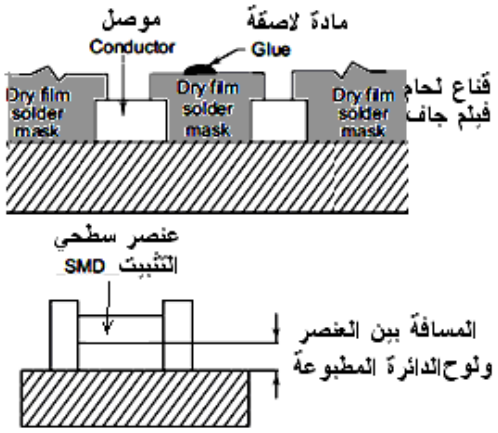
إذا لم يتم التحكم بشكل موثوق في سُمكِ التصفيح، ثمّ بغض النظر عن نوعِ قناعِ اللحامِ المستعملَ وطريقة التطبيقِ، فإن الإتساق في سُمكِ الكبسولة encapsulation لا يُمْكن أنْ يتحقق.

٥-٥-٣ طبوغرافيا السطح لسمك المقاوم
Surface Topography Resist Thickness:

هناك إختلاف قابل للإعتبار في عِلْم الطوبوغرافيا (السمات السطحية لموضع) الناتجة بين قناع لحامِ فيلم سائلِ وقناع لحامِ فيلمِ جاف. في نظام السائل، أقل كمية من السائلِ تطبق على اللوح. ونتيجة لطبيعتة السائلة، يَمِيلُ السائلُ إلى التَدَفُّق لأسفل إلى المادّةِ الأساسية base material ، لذا يَتْرك فيلم رفيع على سطح الموصل. لكن في حالة قناعَ لحامِ الفيلمِ الجافِ، يدفن سُمك الموصل نفسه تحت مستحلب قناع اللحام، وبذلك يقدم عملياً سطح مستو.

٥-٥-٤ مساعدة التنسيبِ Placement Assistance:

يُساعدُ حضورُ فيلمِ قناعِ اللحامِ في وضع عناصر معينة بالتثبيت السطحي SMD. يُمكنُ أَنْ يَأخُذَ توتر السطح للحام التأثيرَ المفيدَ للإصطفافِ والضبط الذاتي لبعض عناصر التثبيت السطحي. هذه المساعدة في ضبط التسكين أو التنسيب الموضعي للعناصر يُمْكِنُ أَنْ ينجَزَ بسهولة مَع فيلم جاف أكثر سمكاً، بينما من الصعب الإنْجاز بحبرِ قناعِ اللحامِ السائلِ، الذي يَتطلّبُ الطلاء المتعدّدَ للحُصُول على ١٠٠ ميكرون ترسيب على اللوح. هذا يُؤدّي إلى وجود لطخ القناعِ على منطقةِ الوسادةَ.



شكل رقم (٥-٦) يوضح التنسيب للعناصر سطحية التثبيت

وجود مقاوم الفيلمِ السميكِ thick film resist بين وسائد التثبيت يعتبر فائدةُ لعناصر التثبيت السطحي، حيث أن الخلوص بين قاعدةِ العنصر ولوح الدائرة المطبوعة في بَعْض الحالاتِ لا يَجِبُ أَنْ تتجاوزْ ١٠٠ ميكرونَ، إذا كان العنصر سَيُثَبّتُ في مكان ما بلاصقِ. إستعمال قناع اللحام ذو الفيلمِ الجافِ السميكِ يحقق هذا المتطلبِ كسطح مستوي أيضاً لتطبيقِ مادة لاصقة كما هو موضح في الشكل رقمِ(٥-٦).

بَعْض أنواعِ العناصر المستويةِ تَوجِدُ لإظهار أحد الجوانب المرفوعة أَو التي تأخذ شكل ' شاهد القبرِ tomb-stoning ' أثناء مرحلة البخارِ خلال عملية اللحام. هذه المشكلةِ يُمْكِنُ أَنْ تتفاقم بإستعمال الفيلم الجاف الاكثر سمكاً. في هذه الحالاتِ، من الضروريُ إسْتِعْمال طلاء قناعِ اللحامِ الأقل سمكاً، والذي يُمْكِنُ أَنْ نحْصَلَ عليه بإستعمال فيلم جاف بسمك٥٠ ميكرون بدلاً مِنْ فيلم بسمك ١٠٠ ميكرون.

٥-٥-٥ معولية قناعِ اللحامِ
Reliability of Solder Mask:

تعتمد معولية قناعِ اللحام على سلامةِ وتكامل الطلاء والكبسلة الكلية encapsulation. بأدنى سمك من قناع اللحام مقداره ٢٥ ميكرون لتغطيةِ الموصلات حيث يعطي حمايةَ كافيةَ ضدّ الأضرارِ الميكانيكيةِ التي قَدْ تَحْدثُ أثناء مراحلِ التجميع والمعالجة. تَعتمدُ معولية المدى البعيدَ الكهربائيةَ على الخصائصِ الكهربائيةِ للمادّةِ المستعملة في قناعِ اللحامِ. الدوائرَ المغلّفة أو المكبسلة بقناعِ لحامِ ذوالفيلمِ الجافِ تصبح محمية بواسطة طلاء بقوّة عزل تتحمل جهد مقداره ٢ كيلو فولت.

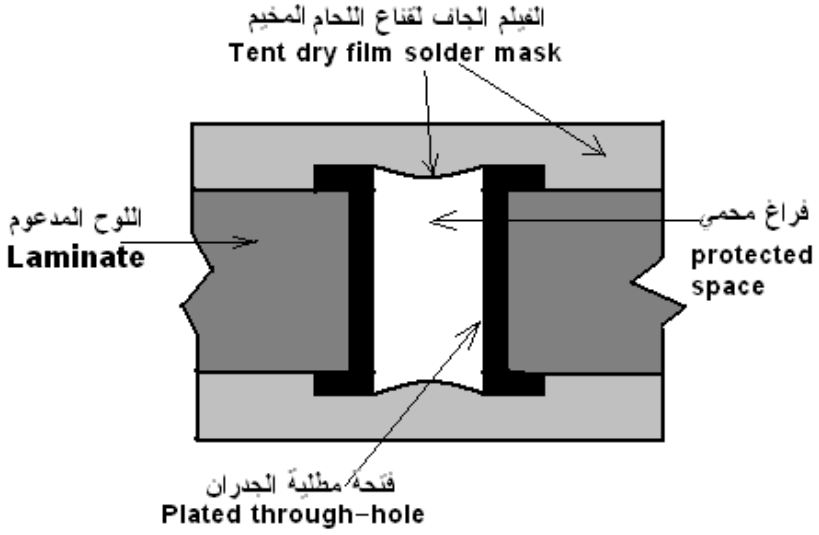
في حالة الألواح المغطاة بقناعِ اللحامِ السائل، نجد أن السُمك سَيَكُونُ أقل مِنْ ٢٥ ميكرون. من ثم، فهو عرضة لاحتواء المزيد من الفتحات الدبوسية والقفزات، والتي تجعل اللوح أقل عزلاً عند مقارنته بالالواح المقنعة باللحام ذات الفيلم الجاف.

٥-٥-٦ التلحيم والتنظيف:

هناك أنظمة قناعِ اللحامِ مختلفةٍ لَها أنظمةُ تنظيف خاصةُ. درجة النظافةِ على وحول الوسادةِ سَتُؤثّرُ على تدفقِ مساعد اللحام الذي، بدوره، يتحكم في درجةِ ترطيب wetting منطقة الوسادةِ وفي النهاية نقطة اللحام نفسها.

٧-٥-٥ التخييم على فتحات نقاط العبور Tenting of Vias:

بتكنولوجيا التثبيت السطحي للعناصر SMD، تؤول فتحات نقاط العبور vias لأن تصبح أصغر وأصغر في الحجمِ. عندما يكون القناع السائل مستعملُ، فليس هناك إمكانيةَ إلا بتخييم tenting الفتحة بشكل موثوق لمنع السائل من دخولها وسدها بعد جفافه. بالإضافة، بسبب ميل انسداد الفتحةِ بالعديد من طلاءات أقنعة اللحام السائلة والصُعوبة البالغةِ في تَذْويب هذه الطلاءاتِ الناعمة المَخْبُوزة أثناء الاظهار، فإن حشو اللحامِ للفتحاتِ غير مضمون. لذا فإن قناع اللحامِ السائلِ غير متوافقُ مع عملية التخييم tenting لفتحات نقاط العبور vias في ألواحِ التثبيت السطحي للعناصر، بينما بواسطة التصوير الضوئي photo-imaging فإن قناع اللحام ذو الفيلم الجاف dry film solder mask في منطقة تواجد فتحات نقاط العبور vias، نجد أن التخييم يتم على نقاط العبور vias هذه بشكل موثوق، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٥-٧)، حتى مَع فيلم سمكه ٥٠ ميكرون مع تغطية سميكة للحماية. تتعرض فتحات نقاط العبور هذه لعملية الاستواء بالهواء الساخن أيضاً. تستخدم طريقة التخييم هذه خلال عمليات صناعة الالواح لتجنب انسدادها.



شكل رقم (٥-٧) يوضح التخييم بواسطة قناع فيلم جاف

التخييم tenting على فتحات نقاط العبور vias مرغوبُ مِنْ وجهةِ نظر تَزويد الموانع البيئيةِ والكهربائيةِ من إختراقِ مساعد اللحام والرطوبةَ. الأقل من الفتحات المنفوخة سَتُصادفُ أثناء اللحام وسيكون هناك فرصة أقل لفتل اللحام wicking وتقنطره. وتعطي أيضاً عملية التخييم Tenting نقاط العبور vias منفعة هامّة في إختبار اللوح العَارِي.

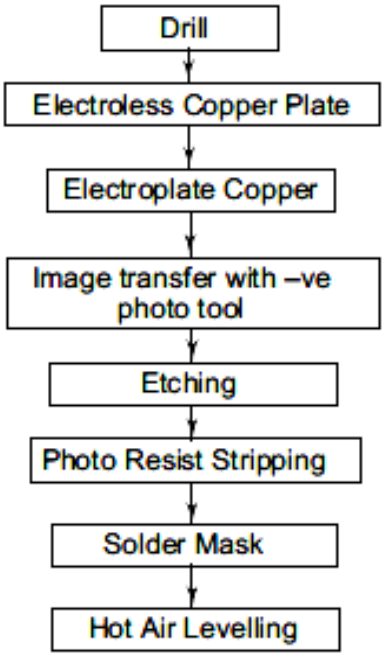
٥-٦ قناع اللحامِ فوق النحاسِ العاريِ Solder Mask over Bare Copper [SMOBC]:

هو أحد أشهر تكنولوجيات تطبيق مقاوم اللحام. من إحدى الأضرارِ الرئيسيةِ للطَلاء الكهربائي التقليدي لطبقة نحاس لوح الدائرة المطبوعة بطبقة من سبيكة القصدير-الرصاص تحت قناع اللحام هو العمل على تَبْثير blistering (ظهور بثور في) قناعِ اللحامَ أثناء لحام الموجةِ أَو إعادة تشغيلها بالاشعة تحت الحمراء أَو لحام مرحلة البخار.

يتدفق معدنِ سبيكة اللحام المائع المتكون من القصدير–الرصاص تحت قناعُ اللحامَ ويؤدي إلى تطويرِ القوة الهيدروليكية القوية، ودفعها خلال قناعِ اللحامَ، مما يؤدي إلى تُفجّيره وتصدعه، وبالتالي فقد الثقةَ أو المعولية للوح الدائرة المطبوعة بشكل خطير. هذه التصدعات تؤدي إلى اصطياد الرطوبة والاتساخات ومساعد اللحام حيث تقوم بفِعْل القنوات التي توجه تدفق السوائلِ إلى مناطق المواجهة (مناطق اللصق) بين طبقات المثبتة معاً وإلى المادّةِ الأساسيةِ base material للوح.

تَتغلّبُ عمليةُ SMOBC على مثل هذه المشاكلِ بواسطة التخلص من ترسيب سبيكة القصدير–الرصاص بشكل كلي من على الموصل تحت قناع اللحام. كل ألواح الدوائر المطبوعة ذات النحاس المصفح يتم إعدادها في أغلب الأحيان بعملية " الخيمة والنقش tent and etch " كما هو موضح في الشكل رقمِ(٥–٨). في هذه الحالةِ، يكون لوح الدائرة المطبوعة مثقب مبدئياً والفتحاتَ ممعدنة metallized بعملية التصفيح النحاسي الغير كهربائي التقليدي. ثمّ، يرسب النحاس إلى السُمك المطلوب بتصفيح لوح التشغيل. بعد هذا التصعيدِ النحاسي، يتم تثبيت الفيلم الجاف ويُعرّضُ بإستعمال أداة فوتوغرافية سالبة (خطوط موصلات ووسائد مكشوفة) حيث تُبلمرُ المقاوم الضوئي في المناطقِ المكشوفةِ وبذلك تتشكل الخيمة على الفتحةِ. ثم يؤخذ مباشرةً اللوح للنقش etching حيث يزال النحاسَ الغير مرغوبَ حول الفتحةِ وحول مناطقِ الموصل، وبذلك يَتْركُ فقط نمط الفتحاتَ ونمطَ الموصلات. يتم تُعرّية مقاوم الضوء photo-resist ومقنع اللحام حيث سَيَكُونُ فيه فقط نحاس مناطق الوسادةَ مكشوف والنحاسَ على المساراتِ سَيَكُونُ مغطى بمقاوم اللحام. المناطق المعرّضَة النحاسية مَمْنُوعة مِنْ أن تصبحُ مُتَآكلة بواسطة تطبيق طلاء خفيف من القصدير–الرصاص بواسطة عملية الاستواء بالهواء الساخن hot air levelling (HAL) .

العمليةَ البديلةَ الأخرى هو معالجَة لوح الدائرة المطبوعة بعمليةِ تصفيح النمطِ التقليدي. على أية حال، مقاوم حفر المعدن يُعرّي ويتم اخفاء اللحام للدائرة المطبوعة. في هذه الحالةِ أيضاً، الوسائد يتم منعها مِنْ أن تصبحُ مُتآكلة بعمليةِ HAL، بذلك يَزِيدُ قابلية اللحام solderability للوح الدائرة المطبوعة.



شكل رقم (٥–٨) يوضح تعاقب عملية وضع قناع اللحام على النحاس العاري بواسطة عملية التخييم

٥-٧ الطلاء الإمتثالي Conformal Coating

الطلاءات الإمتثالية تَستخدمُ لتَحسين الأداءِ وترفع من وثوقية التجميع في الدائرةِ المطبوعةِ التي تُصبحُ خاضعةً للبيئاتِ العدائيةِ مثل التطبيقات البحريةِ، والفضائية والجيش. تستعملُ أغلب منتجات الأجهزة الإلكترونية الإستهلاكيةِ الطلاءاتَ الإمتثاليةَ على نحو متزايد كطريق مربح لتَحسين ثقةِ المُنتَجِ.

عندما يتعرض تجميع لوح الدائرة المطبوعة غير المَكْسُو للهواءِ الرطبِ، فإن تشكيل الأفلامِ السميكةِ لجزيئات الماءِ على أسطحِها يعمل على تُخفّيضُ مقاومةَ عزلِها السطحيّ surface insulation resistance (SIR). مقاومة عزل السطح SIR الاقل، ستأتي بتدهور أكبر لخصائص إرسالِ الاشارة الكهربائيةِ. النَتائِجَ المثاليةَ لهذا هى عبارة عن تداخل الحديث cross-talk والتسرب الكهربائي electrical leakage والإرسال المتقطّعintermittent transmission، وقَدْ يُؤدّي هذا

إلى إنهاءِ دائمِ للإشارةِ، وبمعنى آخر: حدوث دائرة قصر short circuit. أفلام الرطوبةِ على ألواح الدوائر المطبوعة غير المَكْسُوة أيضاً تعطي ظروف مناسبةَ للنمو والتآكلِ المعدنيِ، في النهاية قوّة عازلة مُؤَثِّرَة عكسياً وإشارات الترددِ العالي. يترسب الغبار، والاتساخات وملوثاتpollutants بيئية أخرى على التجميع السطحيِ حيث تعمل الرطوبةُ على تكبير هذه التأثيراتِ، كما يُمْكِنُ أَنْ تُسبّبَ جزيئات موصّلة مثل الرايش المعدني حالات تَقنطر كهربائيَ.

الطلاءات الإمتثالية هى عبارة عن أغلفة فيلمِ بلاستيكيةِ تُحيطُ بتجميع الدائرةِ المطبوعةِ كما بالشكل رقم(٥-٩) . وهى تطبق في فيلم سُمكِه حتى ٠.٠٠٥ من البوصة. وهى تدفع للخارج الاتساخات والملوثات البيئية. تطرد أيضاً في الملوثِ التي لَمْ تزلْ بالتنظيف الابتدائي. وهو مهمُ لذا لتَنظيف السطحِ قبل تطبيق الطلاء الإمتثالي.

شكل رقم (٥-٩) يوضح أغلفة فيلمِ بلاستيكيةِ تُحيطُ بتجميع الدائرةِ المطبوعةِ

وظائفَ الطلاءاتِ الإمتثاليةِ هى:

- تقديم حماية لمجموعةِ الدوائر مِنْ الرطوبةِ والفطرِ والغبارِ والتآكلِ المتسبب من البيئة؛
- منعْ الضرر من تناول اللوح أثناء البناءِ والتركيبِ والإستعمالِ، وتخفّضْ الإجهاد الميكانيكي على المكوّناتِ وتحْميها مِنْ الصدمةِ الحراريةِ؛ ومقاومة الحكّ عند الخدمةِ؛ و
- تحَسينْ الأداء والسماح لزيادة كثافةِ العناصر بسبب قوة العزل المتزايدةِ بين الموصلات.

٥-٧-١ مواد الطلاء الإمتثالي:

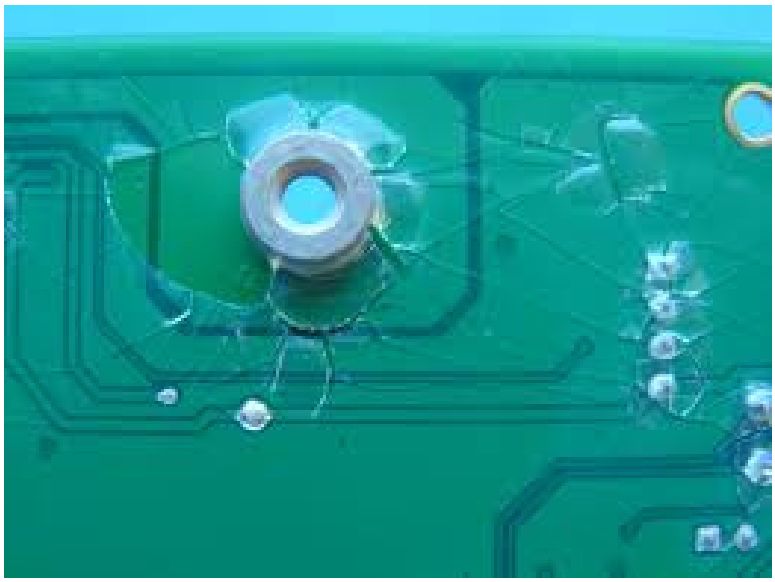
هناك عدد مِنْ الموادِ يُمْكِنُ أَنْ تُستَعملَ للطلاء الإمتثالي. كُلّ مادة لَها خصائصُها المميزة ومناطق تطبيقها. تم تلخيص الميزّاتَ الرئيسيةَ للأنواعِ المختلفةِ للطلاء كما يلي.

٥-٧-١-١ طلاء الأكريليكِ الإمتثالي Acrylic Conformal Coatings:

سهلة التطبيق. يتم معالجتها عند درجةِ حرارة الغرفةِ في دقائقِ، ولَهُا خصائص كهربائيةُ وطبيعيةُ مرغوبةُ. وهى مقاومة للفطر fungus-resistant ولا تنكمش. هذا الطلاء لَه عمر ممتد لمدد طويلة ولا ينكمشُ. ينتج حرارة منخفضة اثناء معالجتها exotherm أو تنعدم تماماً أثناء المُعَالَجَة، حيث تمْنعُ الضررَ للعناصر الحساسة للحرارة. ضررها الرئيسي حسّاسيةُ المذيب، لكن هذا يجعلها سهلة الاصلاح.

٥-٧-١-٢ طلاء الإبوكسي الإمتثالي Epoxy Conformal Coatings :

هى متوفرة عادة في صورة مركبين two-component compounds . وهى تزوّد الطلاء بمقاومة الرطوبةِ، وحكّ عالي ومقاومة كيميائية. وطلاء الابوكسي الإمتثالي عادة صعب الازالة كيمياوياً جداً لإعادة التشغيل والاصلاح لأن أيّ تعرّية قد يهاجم طلاء الابوكسي المغطي للمكوّناتَ وحتى الابوكسي الزجاجي للوح الدائرة المطبوعة نفسها. لذا فإن تبديل العنصر، يَستوجبُ الإحراق خلال طلاء الابوكسيepoxy مَع سكين أَو كاوية لحام.



شكل رقم (٥-١٠) يوضح تضرر طلاء الابوكسي الإمتثالي عند أعمال إعادة التشغيل

٥-٧-١-٣ طلاء البوليروثان Polyurethane Coatings:

وهى متوفرة أمّا في صورة نظام أحادي المكون أو ثنائي المكون. ومن مميزاتها رطوبةً ممتازةً ومقاومةَ كيميائيةَ بالإضافة إلى تَعليق خصائص العزل على فتراتِ ممتدةِ. مادة البوليروثان يُمْكِنُ أَنْ تحرَقَ بكاوية اللحام، بذلك تَبْسط عملية تبديل العنصر.

بالرغم من أن التنظيف يعتبر خطوة حيوية قبل تطبيقِ أيّ طلاء إمتثالي، إلا أن مادة البوليروثان حسّاسة جداً للرطوبةِ، حيث يُمْكِنُ أَنْ تسبّبَ هذا التَبْثير blistering تحت الظروف الرطبةِ. وهذا يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّي إلى فشلِ الدائرةِ في النهاية. تَتطلّبُ صياغاتُ مادة البوليروثان التطبيق الحذر والتحكم الدقيق للطلاء ومُعَالَجَة البيئاتِ.

٥-٧-١-٤ طلاء السيليكون الإمتثالية Silicone Conformal Coatings :

وهى مفيدة جداً لخدمةِ درجةِ الحرارة العاليةِ حتى حوالي ٢٠٠ سنتيجراد. تمتاز بالرطوبةً الممتازةً ومقاومةَ التآكلِ بالإضافة إلى أن التحمّلِ الحراريِ الجيدِ، جَعْل الطلاء الإمتثالي السيليكون silicone مرغوب جداً لألواح الدوائر المطبوعة التي تَحتوي عناصر مبددة للحرارةِ العالية.

خصائص الأداءِ الكهربائي والحراري المثالي للطلاء الإمتثالي معطاة في الجدول رقم ٥-١.

جدول رقم (٥-١) يوضح خصائص مواد الطلاء الامتثالي

Electrical	Acrylics	Epoxies	Silicones	Polyurethanes
Dielectric strength (short time), 23 °C volts/mil at 0.001"	3,500	2,200	2,000	3,500
Surface resistivity at 23 °C, 50 per cent rh, ohms/cm	10^{14}	10^{13}	10^{13}	10^{14}
Dielectric constant at 23 °C, 1 MHz	2.2–3.2	3.3–4.0	2.0–2.7	4.2–5.2
Thermals				
Resistance to heat, continuous, °C	125	125	200	125
Linear coefficient of thermal expansion, μ/in./°C	50–90	40–80	220–290	100–200
Thermal conductivity 10^4cal/ sec/cm^2/cm/°C	4–5	4–5	3.5–8	4–5

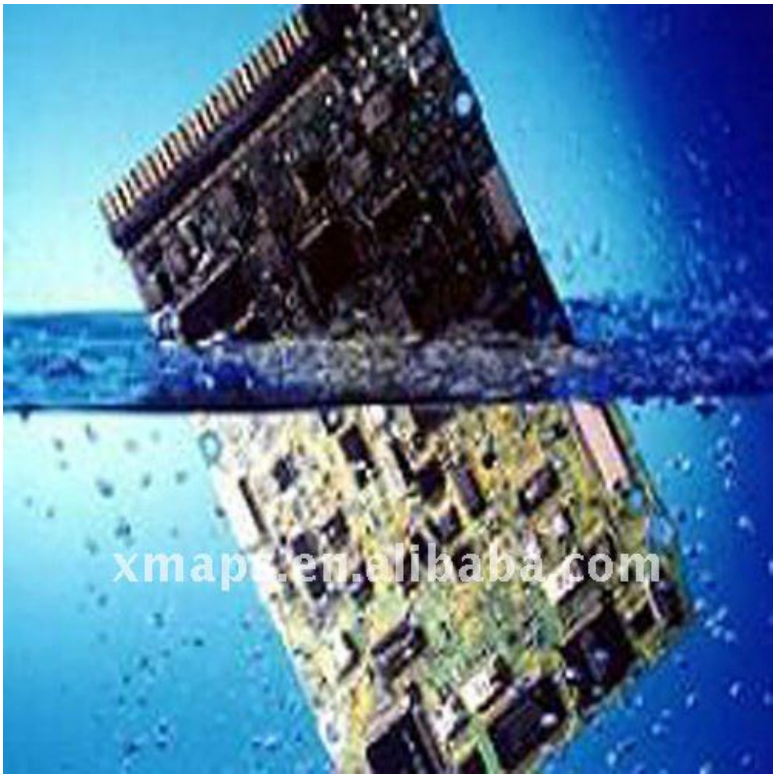
٥-٧-٢ طرقِ تطبيق الطلاء الإمتثالي :

هناك أساساً أربعة مِنْ طرقِ تَطبيق الطلاء الإمتثالي. وسيتم مناقشتها فيما يلي:

٥-٧-٢-١ الدهان بالغمر أو بالغمس أو بالتغطيس Dipping :

في هذه الطريقةِ، التجميع المقنع للوح يتم غمسه في خزان مادّةِ الطلاء السائلةِ ويسحب، مع التأكد من الحصول على تغطيةً موحّدةً وإيداعَ مستويَ. يعتبر معدلى الغمس والسحبَ من العوامل المهمة التي مَنْ الضَّرُوري التحكم فيها للسَماح للمادّةِ السائلةِ اللزجةِ لمَلْئ كُلّ الفراغات في التجميع. سرعةَ الغمرِ المثاليةِ تتراوح بين من ٢ إلى ١٢ بوصةِ بالدّقيقة لتَمْكين الطلاء من احتلال كل الفراغات الهوائية المحيطة بالمكوّناتَ.

عنـد تطبيـق الطـلاءات الإمتثاليـة بـالغمس، لاحـظ أن تبخيـر المـذيبات solvents فـي السـائلِ البلاستيكي قَدْ يَحْدثُ بهذه السرعة التي تَزِيدُ لزوجةَ الحمّامِ بسرعة. لهذا السبب، من المهم المُرَاقَبَة بشكل مستمر لإبقاء اللزوجةً الصحيحةً.



شكل رقم (٥-١١) يوضح كيفية الغمس والسحب في حوض مادة الطلاء الامتثالي

٥-٧-٢-٢ الدهان بالرش Spraying :

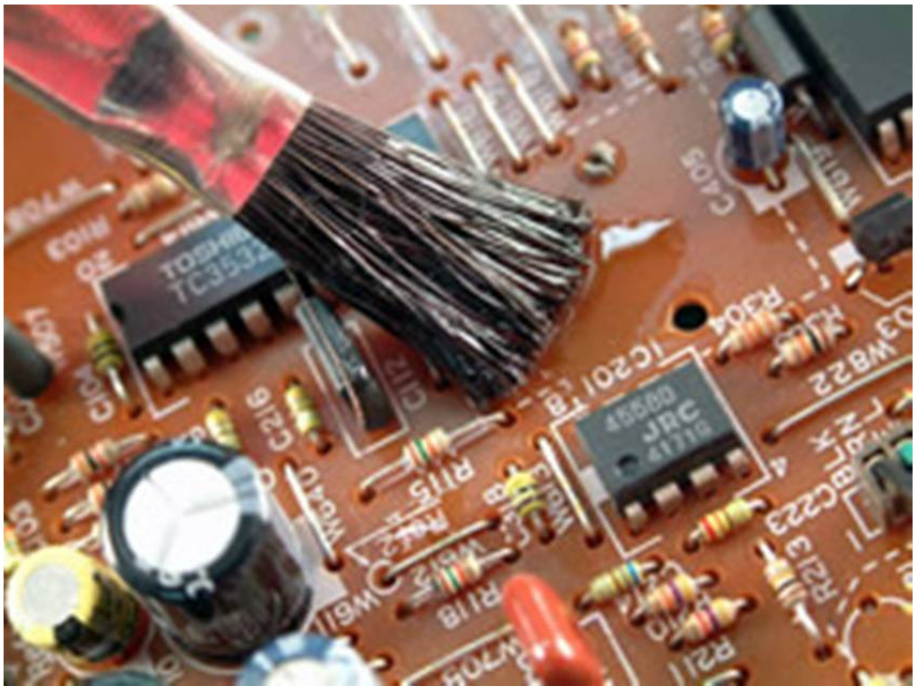
الرش هو الطريقةُ الأكثر شعبيةً والأسرعُ لتَطبيق الطلاء الإمتثالي. بتركيبة مناسبة للمذيب المخفف وضـغطِ الفوهـة والأنمـاطِ، يُمْكِنُ أَنْ نحْصَلَ علـى نَتـائِج متكرّرة وثابتـة. يُمْكِنُ أَنْ يُتم الـرش بكلتـا الوسـائل اليدويـة أَو الآليـة بواسطة إسـتعمال الأنظمـةِ الموجَّهـة بالحاسـبِ متكاملـة مـع خطـوط اللحـام بالموجة والتنظيف. أي عائق رئيسي لطريقةِ الرش هو أنّ القليل أَو عدم وجود طـلاء مطبق تحت العناصر أَو على العناصر التي تكون مُظَلَّلة.

الطلاء يَجِبُ أَنْ يتم رشه على التجميع بواسطة التُنظّيفُ، بالغاز الجاف عند ضغطِ أدنى ضروريٍ لتَزويد الآلية الجيدة. التجميع يَجِبُ أَنْ يرش بمسك بندقيةِ الرش عند زاوية مقدارها ٤٥° والتجميع يَجِبُ أَنْ يدارَ بزاوية مقدارها ٩٠° بعد كُلّ مرة ذهاباً وإياباً.

شكل رقم (٥-١٢) يوضح كيفية اجراء عملية الرش للطلاء الامتثالي

٥-٧-٢-٣ الدهان بالفرشاة_Brushing :

هذه العملية تتضمّنُ عمليةً يدويةً. وهي الطريقةُ الأقلّ فعّالية لتَطبيق الطلاء الإمتثالي بسبب الصعوبةِ في إنْجاز التغطيةِ الموحّدةِ والمكرّرةِ. وتعتبر هذه الطريقةَ عملية فقط للأعدادِ الصغيرةِ مِنْ الواح الدوائر المطبوعةِ.كُلّ طريقة طلاء لَها قوتها وضعفُها. أي تركيبة من الغمس والرش أفضل مِنْ تبني طريقة وحيدة.



شكل رقم (٥-١٣) يوضح طريقة توزيع الطلاء الامتثالي بالفرشاة

الباب السادس

العمليات الميكانيكية
Mechanical Operations

التثقيب، التخريم، التحزيز

الباب السادس

العمليات الميكانيكية
Mechanical Operations
التثقيب، التخريم، التحزيز

٦-١ اهمية العملياتِ الميكانيكيةِ

تَتضمّنُ طريقةُ صناعة ألواح الدوائر المطبوعة عدد مِنْ العملياتِ الميكانيكيةِ لتَهْيِئة ألواح الدائرةِ للعملياتِ الكيميائيةِ لنقلِ الصورةِ image transfer ، والتصفيح plating ، والنقش etching . تَبْدأُ العمليةُ بإستملاك شرائح اللوح المدعوم laminate sheets الذي قَدْ يَكُون كبير بمقدار ٢ × ٢ متر أَو أكبر. لذا، فإن العملية الميكانيكية مثل القطع إلى المقاس المطلوب، وثقب الفتحاتِ والتُشكّيلُ تلعب دوراً هاماً في الجودة النهائيةِ للوح الدوائر المطبوعة.

على خلاف خطواتِ معالجة لوح الدائرة المطبوعة الأخرى، أغلب العملياتِ الميكانيكيةِ تَتطلّبُ معالجة يدوية للوح جديرة بالاعتبار. مثل هذه العملياتِ لا تُشكّلُ جزءَ من أجهزةِ خَطِّ النقلَ، ولذا، لَهُا تأثير رئيسي على حساب تكاليف المنتج النهائي.

كُلّ عملية ميكانيكية لها مجموعة مِنْ المتطلباتِ من ناحية أو بدلالة التفاوت tolerance والدقةِ accuracy. عموماً، يَجِبُ أَنْ نجْعَلَ التفاوت ضيّق كلما أمكن وهو مطلوب جداً عملياً. الإختيار الصحيح للأدواتِ ودرجة حدتها sharpness يعتبر هام جداً في كُلّ مِنْ العملياتِ الميكانيكيةِ للحُصُول على تشطيب مقبول للميكنة. الأدوات الغير حادة والبليدة تُؤدّي إلى عدم انتظام الحواف المقطوعة نتيجة لهشاشةِ (قصافة) راتنجِ اللوح المدعوم. هذا الجزء يبحث في العمليات الرئيسية المستخدمة في تنفيذ الدوائر المطبوعة على الألواح المدعومة، مع التركيز بالأخص على التأثير لكل

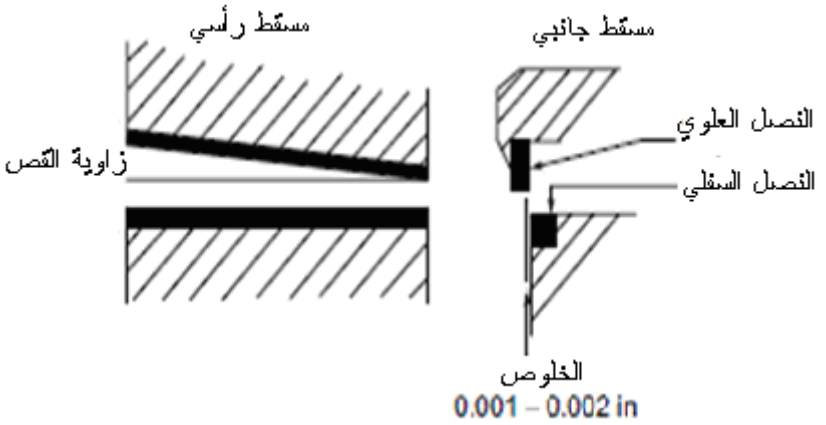
تشغيل على اللوح الذي تم انهائه وعلى معولية أو وثوقية التجميع الناتج. التطبيق الصحيح لقوى الميكنة machining يجب أنْ يُبْقَى منخفض. حيث أن الإفراط في تطبيق قوى الميكنة machining قَدْ يُسبّبُ تفكيك جزئي لطبقات اللوح المدعوم بسبب نوع التركيب الداخلي له، وبذلك يُضعفُ القوّة الرابطةِ للتكوين الداخلي للوح المدعوم interlaminar. المعرفة الجيدة عنْ تركيبِ المادة الأساسيةِ، والأجهزة والأدوات التي تستكمل بمهارات المشغلِ الجيدةِ يُمْكِنُها أَنْ تُسهّلَ تنفيذ العملياتِ الميكانيكيةِ بطريقة جيدِة للوصول لمستوى جودة أعلى لإنتاجية لوح الدائرة المطبوعة.

٦-٢ عمليات القطع Cutting Methods:

٦-٢-١ عملية القَصّ Shearing:

القَصّ ربما يكون العمليةُ الميكانيكية الأولى التي تنفذ على ألواح الدوائر المطبوعة لإعْطائها الشكلِ أو المخطط المطلوب. وهى أساساً طريقة قطع قابلة للتطبيق على كُلّ أنواع الموادِ الأساسيةِ base materials، عموماً لسمك أقل مِنْ ٢ مليمترِ. عندما تكون الألواح المراد قطعها بسمك أكثر مِنْ ٢ مليمترِ، فإن القص النَاتجَ في تشطيب الحافةِ سيكون خشن ورديء، لذا، فإن الطريقة تُصبحُ غير مقبولةَ.

القطع للوح المدعوم بالقَصّ يُمْكِنُ أَنْ يتم إمّا بالتشغيل اليدوي أَو بماكينات تعمل بمحرك. كلا النوعين على أية حال، لَهما ميزات بنائيةُ مشتركةُ. أي ماكينة قَص لَها عادة مجموعةُ قابلة للتعديلُ والضبط مِنْ أنصالِ القصِّ كما هو معروض في الشكل رقمِ (٦-١). تأخذ الأنصالَ الشكلِ المستطيلِ. النصل السفلي لَهُ زاويةَ حرة حوالي ٧°. قابليةَ طولِ القطع متوفرة حتى ١٠٠٠ مليمتر. الزاوية الطولية بين الأنصال عموماً تُفضّلُ أن تكون بين ١°-١.٥°، مع ذلك يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ حتى الزاوية ٤° لموادِ الابوكسي الزجاجية. الخلوص بين حافتى القطع للنصلين يَجِبُ أَنْ تكون محدودة إلى أقل مِنْ ٠.٢٥ مليمترِ.



شكل رقم (٦-١) يوضح أنصال القص النموذجية القابلة للضبط للألواح المدعومة ذات القشرة النحاسية.

الزاوية بين نصلى القصَّ تَعتمدُ على سُمكِ المادّةِ الّتي سَتُقْطَعُ. المادة الأثخن، ستحتاج إلى الزاوية الأكبر. إذا كانت زاويةِ القصَّ عالية جداً أَو أن الفجوةُ بين الصفائح عريضةُ جداً فإنه يظْهرُ تصدعات ريشية بينما يتم قطع الموادَ الأساسيةَ الورقيةَ. على أية حال، في حالة الألواح المدعومة بالابوكسي والزجاج، بالرغم من أنَّ الشقوق لا تظهر بسبب قوّةِ الإلتواء flexural للمادّةِ، فإن المادّة سيظهر عليها تشويهَ إذا كانت زاويةِ القَصّ عريضةُ جداً أَو الفجوةُ للنصلَ كبيرة جداً. للحُصُول على تشطيب حافة نظيفة في الموادِ الأساسيةِ الورقيةِ بواسطة القَصّ، تسخّنُ المادّةَ في المدى ٣٠ -١٠٠ سنتيجراد حيث يكون هذا مساعد.

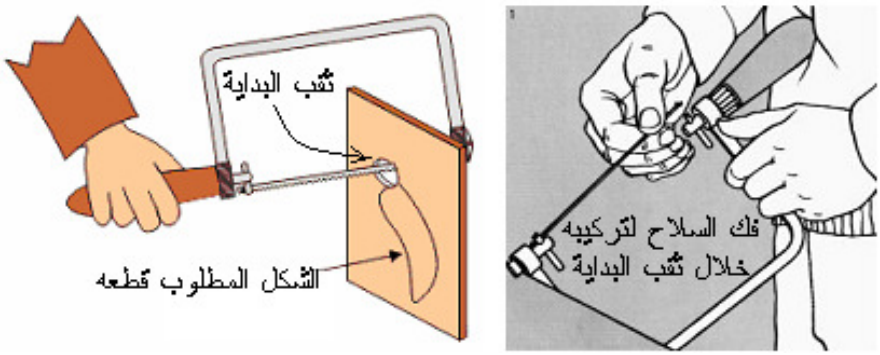
لكي نحْصلَ على قطع نظيف، يجب أنْ تُضْغَطَ على اللوح المراد قصه لأسفل على طاولة المقص بأداة ضغط محملة بياي لمَنْع أى إزاحة غير متجنبة للوح أثناء القَصّ. أيضاً، أخطاء إختلافِ النظر parallax errors التي قَدْ تُؤدّي إلى أخطاءِ حتى ٠.٣ - ٠.٥ مليمتر، يَجِبُ تجنبها ويجب استخدام أدوات إيقاف دقّيقة لضبط علاماتِ الأركان.

ماكينات القص متوفرة لمُعَالَجَة المشغولات jobs مُخْتَلِفةِ المقاسات ولتقديم صفة التكرار الانتاجية بأبعاد دقيقة. وهناك ماكينات أكبر حيث يُمْكِنها أَنْ تَقْطعَ عِدّة مئات من الكيلوجرامات مِنْ المادّةِ الأساسيةِ كل سّاعة.

٦-٢-٢ عملية النشر Sawing:

النشر هو عبارة عن طريقةِ أخرى لقطع الالواح المدعومة. الطريقةَ مُفَضَّلةُ كما تَعطي تشطيب حافة أكثر نعومة وقطع نظيف، هذا بالرغم من أن التفاوت البعدي مماثل حيث يقع بين (٠.٠٣-٠.٥ مليمتر) مع القص.

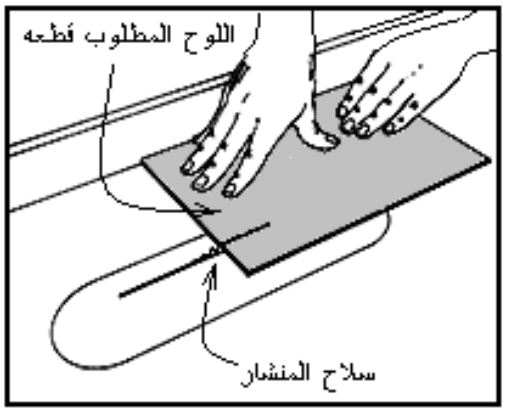
ويستخدم في قطع الالواح المنشار الآركت Coping saw المناسب، يراعى ضرورة إحداث ثقب أو مجموعة ثقوب حتي يمكن البدء في عملية النشر كما بالشكل رقم (٦-٢). يتم فك سلاح المنشار من أحدى الجانبين وإدخاله من خلال الثقب الذي سبق التنويه عنه. ثم يعاد ربط طرف سلاح المنشار والبدء في عملية النشر. يَجِبُ أَنْ يكُونَ سلاح المنشار مصنوع من الكربيد لتَجَنُّب التَخْشين. ونأخذ في الاعتبار ناتج عملية نشر الألياف الزجاجية من الغبار الذي يُمْكِنُ أَنْ يُسبّبَ تهييج أو إثارة البشرة. ومن السّهلِ أيضاً إحداث خَدْش عن طريق الخطأ للطبقة الحامية للوح الدائرة المطبوعة قبل تصنيعها أثناء النْشرُ، مسبّبُاً خدوشَ في المقاوم الضوئي photoresist أو كسر المسارات على اللوحةِ المصنعة. سلاح المنشار الكربيدِ لمنشار التخريم (الآركت) jigsaw قَدْ يَكُونُ خيار أصح.



شكل رقم (٦-٢) يوضح كيفية استخدام منشار الآركت لتشكيل الألواح

في صناعةِ لوح الدائرة المطبوعة، في الغالب تفضل ماكينات المنشار الدائري نوعِ المنضدةِ المتحركة، الشكل رقم (٦-٣). سرعة نصلِ المنشارِ قابلة للتعديلُ أو الضبط بين ٢٠٠٠-٦٠٠٠

دورة/الدقيقة. لكن عندما يتم ضبطها، فإن سرعة القطع يَجِبُ أَنْ لا تتغير. ويمكن انجاز هذا بواسطة إستعمال البكراتِ الثقيلةِ بسير ذو مقطع على شكل حرف V .



شكل رقم (٦-٣) يوضح المنشار الدائري وكيفية استخدامه

أنصال القرص الفولاذي عالي السرعة بقطر يساوي تقريباً ٣٠٠ مليمترِ مستعملة بسرعات من ٢٠٠٠ – ٣٠٠٠ دورة/الدقيقة للموادِ الفينولية الورقية. وهى حوالي ١.٢-١.٥ سنّ لكلّ سنتيمتر من المحيطِ. للألواح المدعومة الابوكسية الزجاجية، تستعمل الانصال المصنعة من كربيدَ تنجستن. للأداء الاحسن المستقر، يفضل العجلات الماسية. بالرغم من أنّها قَدْ تتطلّب إستثمارَ أوليَ أعلى، إلا أنها تساعد في التوفير مُستقبلاً نتيجة لطول أعمارها وحافتها ذات التشطيب المحسن.

الإجراءات الوقائية التالية سَتُثبتُ فائدتها أثناء تشغيل ماكينةِ النشر:

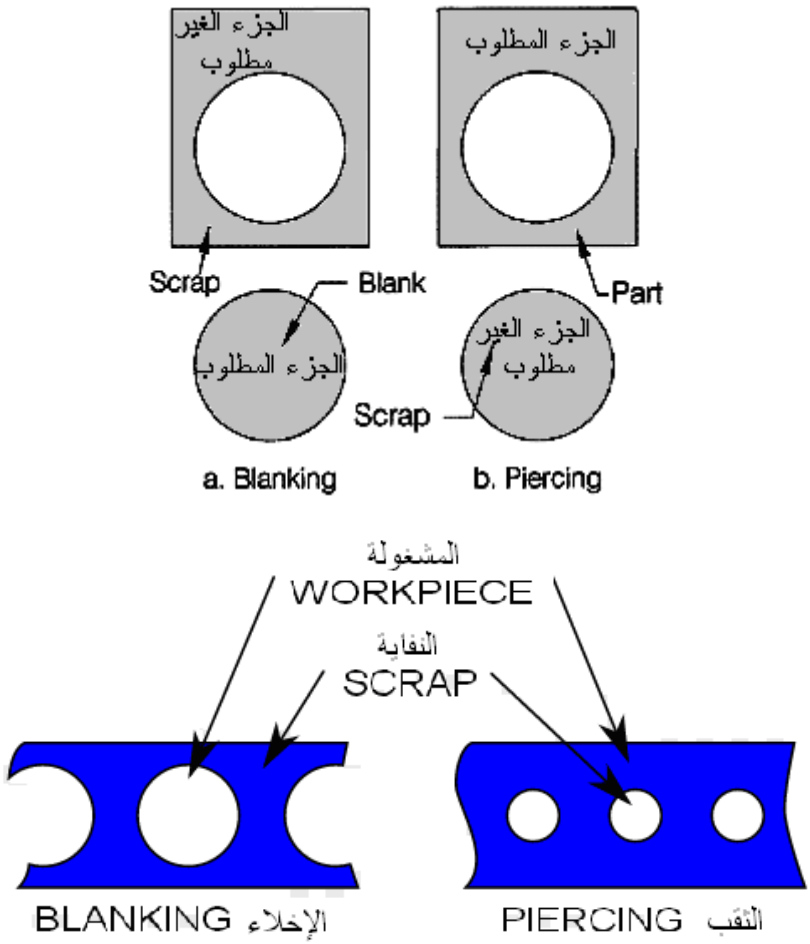
- دقّة اسطح الارتكاز لَها تأثير مباشر على تشطيب الحافةَ. افحص اسطح الارتكاز من ناحية التثبيت. لا يَجِبُ أَنْ يكُونَ هناك اهتزاز محسوس عند الفحص باليد.
- للأمانِ، يَجِبُ دائماً أَنْ يكون النصل مُغَطَّى بواسطة وسيلة حارسِة مناسبةِ.
- ضبط محور القرص وتثبيت المحرّكِ يَجِبُ أَنْ يَكُونا صحيحَين.
- الخلوص بين النصلِ ومنضدة المنشارَ يَجِبُ أَنْ يَكُون عند أدنى قيمة ليعطي دعم جيد للوح أمام حافة القطع.

- المنشار الدائري يَجِبُ أَنْ يَكُونَ مضبوط جداً بِحيث يكون الإرتفاع الحر للنصلِ فوق الألواحِ في مدى من ١٠-١٥ مليمتر.
- النصل الغير حاد والبليد والتَسْنين الخشن جداً والغير منتظم نتيجة للأستخدام السيء يُمْكِنُ أَنْ يُؤدّيا إلى تشطيب حافةِ سيئةِ. يَجِبُ أَنْ تُؤْخَذَ العناية الصحيحة لتَفادي هذه الحالات.
- معدل التغذية الخاطئ يُمْكِنُ أَنْ يؤدّي إلى تشطيب حافةِ سيئةِ.قم بضبطه بشكل صحيح. الموادِ السميكةِ تحتاج إلى معدل تغذية أقل بينما المواد الرفيعة يمكن قطعها أسرع.
- إذا كان قرص المنشارَ ذو نصل رفيع، فإنه يجب استخدام ياقة لتَخفيض الإهتزازِ.

٦-٢-٣ عملية تفريغ ألواح الدوائر المطبوعة :Blanking of PCBs

عندما تكون ألواح الدوائر المطبوعة مصممة لتأخذ أشكالاً ما بدلاً من المستطيلِ أَو مخططُ محيطي غير نظامي، فإن إستعمال كفة أو قالب التفريغ blanking die تصبح هى الطريقة الاسرع والأكثر إقتصاداً. ويشمل التفريغ Blanking أساساً عمليةً قطع نظيف تتم بأداةِ تخريم بدلاً مِنْ استعمال ماكينة منشار أَو قَصّ. في بَعْض الحالاتِ، نجد أن عمليتي التخريم punching والتفريغ blanking يتم تنفيذهما بنفس اداة العملية. على أية حال، عندما يتطلب تشطيب حافةِ بدرجة عالية من الدقة أَو يتطلب تفاوت بعدي ضيق، فإن عملية التفريغ قَدْ لا تؤدّي الغرضَ بالكامل. في ألواح الدوائر المطبوعة، نجد أن عملية التفريغ حَسنة جداً ومهيئة للعمل على ألوح مدعومة بالورق paper-based laminates ولكن نادراً على ألواح مدعومة بالأبوكسي والزجاج. عملية التفريغ تساعدُ على إنْجاز أبعادِ لوح الدائرة المطبوعة ضمن تفاوت مقداره ± (٠.١ – ٠.٢ مليمتر).

وجدير بالذكر ضرورة التمييز هنا إلى مصطلحين مهمين لا يجب عدم التمييز بينهما. في التفريغ blanking، القطعة (المشغولة) تُقْطَعُ للخارج مِنْ الشريحة، وتُصبحُ جزء منتهي. في الثُقْب piercing ، جزء المقطوع للخارج cutout يعتبر نفايةُ (خردة) ويجب التخلص منه بينما يُسافرُ جزءَ المُنتَجَ خلال بقيّةِ القالب. يجب أن نلاحظ أن المصطلحَ مختلفُ هنا، مع أن كلتا العمليتان أساساً هى نفسها وتَعُودُ إلى نفس صنفِ أو فئة العملية وهى عمليةُ القطع المعدنيِ شكل رقم (٦-٤).



شكل رقم (٦-٤) يوضح الفرق بين عمليتى التفريغ blanking والثقب piercing

تفريغ اللوح المدعوم المؤسس على الورق

Blanking a Paper-based Laminate

حيث أن مادة اللوح المدعوم المؤسس على الورق ناعمة إذا ما قورنت مع اللوح المدعوم المؤسس على الابوكسي والزجاج، فهو يعتبر أكثر الالواح المدعومة مناسبة لعملية التفريغ Blanking. بينما تصمّيمُ أداة التفريغ للألواح المؤسسة على الورق، فإن المرونة أو انتاجية المادة يجب أن يؤخذا بعين الاعتبار. الجزءُ المفرغ سَيَكُونُ، عُموماً، أكبر قليلاً مِنْ الكفة أو القالب التي/الذي تنتجه لأن

اللوح المدعوم المؤسس على الورق يميل إلى المرونة العكسية spring back. لذا فإن الكفة أو القالب die يصنع أقل مقاساً بشكل خفيف إذا ما قورن بمقاس الطبع لتعويض المقاس الزائد أكثر من اللازم، إعتِماداً على التفاوت وسُمكِ المادّةِ الأساسيةِ material base . قَدْ يُلاحظُ أنه عندما يتم تنفيذ التخريم لفتحة، تكون الكفة أو القالب بمقاس أكثر من اللازمُ، حيثما تم التفريغ تصبح الكفة تحت المقاس أو غير كافية.

في حالة الترتيب المعقّد، تُفضّلُ الأداة التقدمّية وبمعنى آخر: جزء أو قطاع المادة يتقدم من مرحلة لأخري مع كُلّ ضربة كفة. بهذه الطريقة، تتم الفتحات المَثْقُوبة pierced في المرحلة أو المرحلتين الأولتين وفي المراحلِ النهائيةِ، الجزء المُكمَل يكون مفرغاً blanked. تشطيب لوح الدائرة المطبوعة يُمْكِنُ أَنْ يحَسّنَ بتنفيذ عملية الثُّقْب piercing والتفريغ blanking في ظروف مرتفعة الحرارة وبمعنى آخر: بعد تدفئة الشريطِ إلى حوالي من ٥٠ –٧٠ سنتيجراد. على أية حال، العناية يجب أنْ لا تُؤْخَذَ لحرارةَ أكثر من اللازمَ، حيث أنها قَدْ تُسبّبُ للوح الدائرة المطبوعة الإنكِماش خارج التفاوت عندما يبرّدِ. أيضاً، خصائص التمدد الحراري للمادّةِ الأساسيةِ يَجِبُ أَنْ تُظْلَّ في وجهةِ النظر كمادة فينولية ورقية تظهر التمدد التفاضلي في الاتجاهات x و y .

تفريغ اللوح المدعوم الابوكسي الزجاجي

:Blanking a Glass Epoxy Laminate

بالرغم من أنَّه لَيسَت ألواح الدوائر المطبوعة الابوكسية والزجاجية موصّى بها دائماً في الحالاتِ الخاصّةِ بأن تكون مخرومة للخارج، متى كانت لَيستْ عملية لإنْتاج الأشكالِ المطلوبةِ بعملية القَصّ أَو النشر. على أية حال، نلجأ لهذا متى كان التشطيب أَو الأبعادِ المطلوبةِ لَيست صارمةَ جداً. لذا، فإن تشطيب الحافةَ قَدْ لا يبدو نظيفاً جداً مع إنَّهَا مقبولة عملياً. الأداة المطورة للتفريغ لخارج اللوح المدعوم الابوكسي–الزجاجي سَيكونُ لديها درجة قريبة جداً بين الكفة die ولكمةِ التخريم punch بينما اللوح المدعوم الابوكسي– الزجاجي يُوْجَدُ لعَرْض أقل مرونة بالمقارنة مع ألواح مدعومة مؤسسة على الورق. تفريغ الزجاجِ يتم دائماً في درجةِ حرارة الغرفةِ.

حيث اللوح المدعوم الابوكسي –الزجاجي أصلد وأقسيُ من أن يفرغ، فإن فترة اللكمةَpunch life سَتَكُونُ محدودة. حيث تضعف بسرعة جداً. لكن النتيجة الأفضل يُمْكِنُ الحصول عليها باستخدام اللكمات المشذبة بالكربيدِ.

٦-٢-٤ عملية التفريز Milling:

التفريز هو تشغيل مستعمل عموماً ويُمْكِنُ تطبيقه لتنظيف الحافة المقطوعة لألواح الدوائر المطبوعة وللحُصُول على تشطيب جيد للحافة والأبعادِ العامّةِ مَع درجة عالية من الدّقة. عموماً سرعة القطع المستعملة في المدى من ١٠٠٠–٣٠٠٠ دورة/الدقيقة. يَستخدم عادة أحدة التفريز سن مستقيم أَو سنَّ حلزونيَ مصنع من فولاذ عالي السرعة HSS (high speed steel). على أية حال، في حالة الألواح المدعومة الابوكسية الزجاجية، يفضل إستعمال الأدواتِ المصنعة من كربيدِ التنجستنِ بسبب طول بقائها long life. ولكي نتفادى تفكيك الطبقات de-lamination للوح المدعوم يجب أنْ يُعطي دعمَ قويَ للوح الدائرة المطبوعة بدعم طبقات اللوح المدعوم وذلك بتثبيته جيداً بأى مادة داعمة أثناء التفريز. لتفاصيلِ ماكينات التفريز milling machines، وأدوات وسمات وظيفية أخرى، يجب أن يكون هناك نصوص قياسية عن أجهزةِ الورشة الميكانيكيةَ أَو الورشةَ.

٦-٢-٥ عملية التوجيه في ألواح الدوائر المطبوعة Routing of PCBs

للحُصُول على تشطيب جيد للحافة ودقةِ بعديةِ أعلى مِنْ التي نستطيع الحصول عليها من القَصّ أَو النْشرُ، خصوصاً لألواح دوائر مطبوعة بمحيط غير تقليدي، فإن التوجيه يُصبحُ طريقة الإختيارِ. التفاوت البعدي يُمْكِنُ أَنْ يُنجَزَ في المدى ± (٠.١–٠.٢) مليمتر مَع تكلفة أكثر انخفاضاً مِنْ التفريغ blanking. لذا، في بَعْض الحالاتِ، التفريغ مع زيادة طفيفة في المقاس يتم تطبيقه متبوعاً بالتوجيه للحصول على تشطيب سطحي ناعم.

إستعمالَ ماكينات متعددةِ المغازلَ في الوقت الحاضرِ خصوصاً يؤكد على أن التوجيه أسرع بكثيرُ، وان كل من تكلفة العملَ والتكلفة الكليةَ أقل بكثيرَ مِنْ المطلوب لتصنيع كفة أو قالب التفريغ.

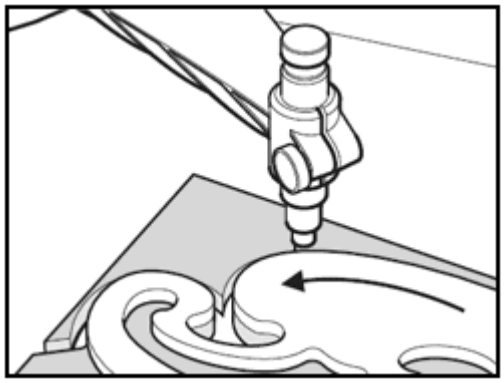
عندما يحتوي اللوح لمسارات نحاسية قريبة من حافتة، نجد أن التوجيه ربما يكون الطريقة الوحيدةِ للتفريغ التي تكون قادرة على تَزويد جودة مقبولةَ للألواحِ.

التوجيه أساساً هو عبارة عن عملية ميكنة machining process مشابه لعملية التفريز لكنها تتم بسرعة قاطع ومعدل تغذية أعلى بكثير. في هذه الطريقةِ، الألواح تَمُرُّ على تفريز جانبي عمودي بمساعدة دليل تشغيل التوجيه routing jig . دليل تشغيل التوجيه موجّه نسبة إلى التفريز بواسطة مسكها ضدّ الجلبة bushing التي تكون مركزية مع التفريز. وَضْع لوح الدائرة المطبوعة على دليل تشغيل التوجيه مُحدَّد بواسطة فتحات تسجيل المادّةِ.

هناك ثلاثة نظم توجيه أساسية متوفرةِ. وهى:
a) توجيه الدبّوسِ Pin routing ؛
b) توجيه الإبرةِ أَو الراسمِ Tracer or stylus routing؛ و
c) توجيه NC.

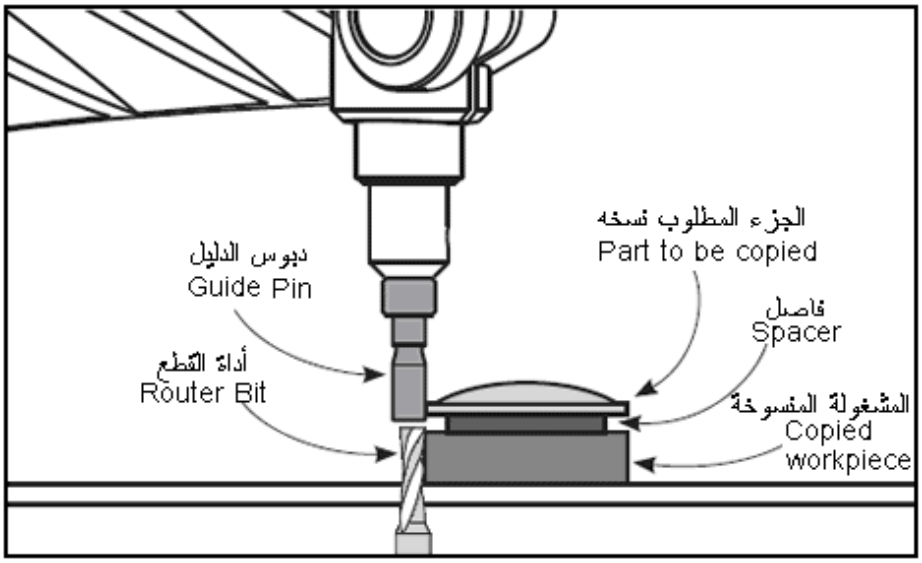
٦-٢-٥-١ توجيه الدبّوسِ Pin Routing:

توجيه الدبّوسِ هو عملية توجيه يدويةِ وهى أفضل طريقة تناسب إنتاجية الحجمِ الصغير من الألواح التي تتطلّبُ فيها حافةَ دقيقة جداً ودقة بعدية عالية، الشكل رقم (٦-٥). لتوجيه الدبّوسِ، يتطلب شبلونة مصنعة بدقة سواءً من الفولاذِ أَو الألمنيومِ، أو لوح مدعوم من النوع FR-4، أَو لوح فينولي مدعوم بالاليـاف، وتصـنع بشـكل منضـبط بموجـب محـيط اللـوح المطبـوع. الطبعـةَ أو الشـبلونة template صنعت بأبعاد اللوح النهائي ولَها دبابيسُ عدة tooling ركّبتْ لتَسجيل فتحاتِ اللوح المشكلة بالقطع (لا بالتجليخ) tooling .



شكل رقم (٦-٥) يوضح ضرورة الدوران للمشغولة لتجنب توقف الدبوس

يتم توجيه الكومة stack (التي قد تصل إلى أربع ألواح في الكومة) بواسطة تتبع الطبعةِ أو الشبلونة مقابل دبّوسِ الدليل pilot pin. عادة، يكون دبّوس دليل الماكينةَ بنفس قطرِ أداة القطع الموجهه router bit ويُمْكِنُ أَنْ تَوَازنَ أو تضبط المعدّل offset لإعْطاء مرونةِ للمشغلَ في تَحسين الأبعادِ. العمل يَجِبُ أَنْ يُغذّي ضدّ دورانِ القاطعِ لمَنْع القاطع من المَسْك grabbing الشكل رقم (٦-٦).



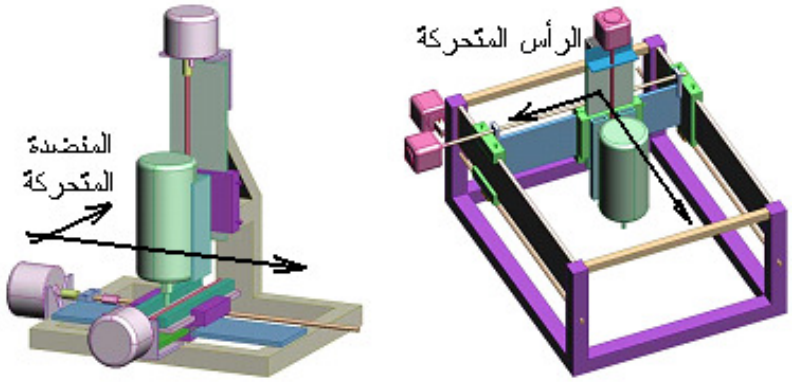
شكل رقم (٦-٦) عمل نسخ بتوجيه الدبوس

إنّ الطبعةَ أيضاً مجهزة بالدبابيسِ لتسجيل ولوَضْع الألواحِ. ثلاثة أو أربع ألواحٍ تُكدّسُ عادة مقابل الدبّوسِ المرشد أو الدليل الذي يُبرزُ مِنْ المنضدةِ. يكون أن يكون القاطعَ المستعملَ مِنْ نفس قطر الدبّوسِ الدليل.

توجيه الدبّوسِ Pin routing يُمكنُ أَنْ يَكُونَ عمليةً إقتصاديةً عندما يكون المطلوب عدد صغير من الألواح، أَوإذا كانت الأشكالِ المطلوبةِ بسيطة نسبياً. ولجعل توجيه الدبّوس فعّالاً، عموماً يجب أن يكون المشغل ماهر جداً لصِناعَة الطبعةِ أو الشبلونة لتَوجيه الألواحِ. خارج الورش الميكانيكية يُمْكِنُ أَنْ ينفذ التوجيه على شريحة ألومنيومِ لكُلّ تطبيق؛ إلا أن وقت الإنتظار والتكلفة لكلّ طلبِ يجب أنْ يؤخذ بعين الإعتبار. توجيه الدبّوسِ عادة مستعمل بواسطة الورش الصغيرةِ الغير قادرة على الإسْتِثْمار بأجهزةِ CNC ودعمها المرافق. في التشغيلات الأفضل لتوجيه الدبّوسِ، نجد أن الاحجام المنتجة لا يُمْكن أنْ تُقَارنَ بتوجيه المغازلِ المتعدّدِة multiple-spindle routing .

٦-٢-٥-٢ توجيه المسار Tracer Routing:

موجه المسار Tracer router يَستعملُ أيضاً طبعة أو شبلونة template مشابهة للمستعملةِ في توجيه الدبّوسِ pin routing. هنا، تقوم الإبرة بتتبّعُ الخطوط الخارجية للوح على الطبعةِ (الشبلونة). الإبرة قَدْ تُسيطرُ على حركةِ المغازلِ أعلى منضدة ثابتة، أَو هى قَدْ تسيطرُ على حركةِ المنضدةِ في حالة المغازلِ الثابتةِ كما بالشكل رقم (٦-٧). النظرة الأخيرة تُستَعملُ عموماً بماكينات المغازلِ المتعدّدةِ.



شكل رقم (٦-٧) يوضح الرأس المتحركة والمنضدة المتحركة

ولتنفيذ توجيه المسار يتم ميكنة الطبعةَ (الشبلونة) على الخطوط الخارجية للوح، وذلك بتتبع الإبرةِ للحافةَ الخارجيةَ. القطع الأول يتم بتتبع الإبرةِ للحافةَ الخارجيةَ. أثناء المرور الثانيِ، يَتتبّعُ الحافةَ الداخليةَ، التي ستخفف أغلب الحملِ على الموجه وتَعطي سيطرة أفضل للأبعادِ. في توجيه الإبرةِ، الدقة المنجزة تكون أعلى بكثيرُ مِنْ ذلك في حالة توجيه الدبّوسِ. بمهارةِ المشغلِ المعتدلةِ، يمكن انجاز تفاوتاً مقداره ± ٠.٠١٠ بوصة (٠.٢٥ مليمتر) في حالة الإنتاجِ ذو الحجمِ العاليِ. مع ماكينات المغازلِ المتعدّدةِ ، وحتى ٢٠ لوح يُمْكِنُ أَنْ توجه في مرةً واحدة.

٦-٢-٦ عملية التخريم Punching process :

في أغلب الحالات هناك اختيار بين عملية التثقيب Drilling process وعملية التخريم Punching process . ومع ذلك يجب تذكر ما يلي:

١-الفتحات الكبيرة أسهل من الفتحات الصغيرة عند تخريمها، تحت قطر معين (حوالي ٠،٩ ملليمتر للألواح المدعومة ذات الدعم الورقي paper reinforced laminates و ١،٢ ملليمتر للألواح المدعومة ذات الدعم بالقماش الزجاجي) يصبح انهيار التخريم شائع تماماً.

٢-التصدعات بين الفتحات المتجاورة تعتبر أكثر حدوثاً عنها في الألواح المدعومة المثقبة drilled board. احتمال حدوث التصدعات يعتبر عال جداً في كل الألواح المدعومة المدعومة بالورق.

٣-الألواح المدعومة بالقماش الزجاجي، وخاصةً G-11 و FR-5 ، تسبب التمزق السريع للخروم.

٤-الفتحات المثقبة لها أقصى دقة قطرية.

٥-الفتحات المثقبة لها حوائط أكثر نعومة.

٦-فك الرقائق عند الوسادة من المواد الاساسية يحدث غالباً في الدوائر المطبوعة المخرمة عن الدوائر المطبوعة المثقبة.

إذا كانت هذه الاعتبارات لا تشجع على استخدام أحد هذه الامكانيات الاخرى، فإن التقدير الاقتصادي يجب أن ينفذ. ومن بين هذه الفوائد لعملية التخريم هو كما يلي:

١-تكاليف تشغيل منخفضة

٢-معدل انتاج عالي جداً على القطعة الواحدة للجهاز.

٣-دقة عالية وإمكانية إعادة التخريم لأوضاع الفتحات.

ومن بين العيوب الكبرى لعملية التخريم ما يلي:
١-تكاليف العدة العالية
٢-أطول زمن قيادة (التسديد) لبدء خط الانتاج (وذلك نتيجة لإحتياجه إلى العدة)
٣-تكلفة عالية (وزمن طويل) متشابكة حتى للتغيرات الصغيرة لأوضاع الفتحات أو اقطارها.
٤-خطر توقف الانتاج نتيجة لإنهيار العدة.
٥-دقة قطر الفتحة المخرومة أقل وحوائط الفتحة خشنة.

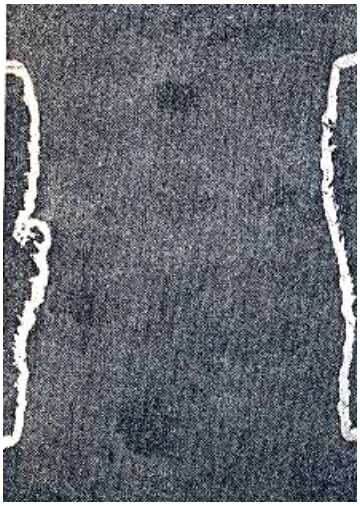
على أساس الاعتبارات الكمية، فإنه عادة من الافضل خرم الألواح كبيرة الحجم الغير مطلية الجدران non-PTH المصنعة من الألواح المدعومة بالورق وثقب الانواع الاخرى.

عادة يكون كل من دقة قطر diameter accuracy الفتحة ونعومة حائط hole smoothness الفتحة رديئتان عند التخريم punching عنها عند التثقيب drilling. على أية حال، هذه العوامل تتأثر بدرجة كبيرة بدقة كفة أو قالب التخريم punching die. أقطار التخريم لكفة أو قالب القاع bottom die تساوي عادة من ٥٠-١٠٠ ميكرون (٠،٠٠٢-٠،٠٠٤ بوصة) أكبر من أقطار الخروم. إذا طلب فتحة جيدة جداً، فإن الخلوص الادنى يجب أن يكون محفوظاً. في حالات خاصة يمكن الخفض إلى ٣٠ ميكرون (٠،٠٠١٢ بوصة).

إذا كانت الجودة للفتحات من النتيجة الصغيرة ، فإن خلوص الخرم إلى القالب أو الكفة punch-to-die clearance (على القطر) يمكن أن يكون كبيرٍ بمقدار ٠،٢ ملليمتر (٠،٠٠٨ من البوصة) كلما أمكن، بشرط أن :

(أ) يبدأ التخريم دائماً بعملية القطع للوح المدعوم من جانب طبقة النحاس، و
(ب) الفتحات تكون مخرمة قبل الحفر بالاحماض أو أن تكون الوسائد كبيرة بدرجة كافية،
(ج) الوسائد يجب أن تكون كبيرة بشكل كافٍ للتخريم.

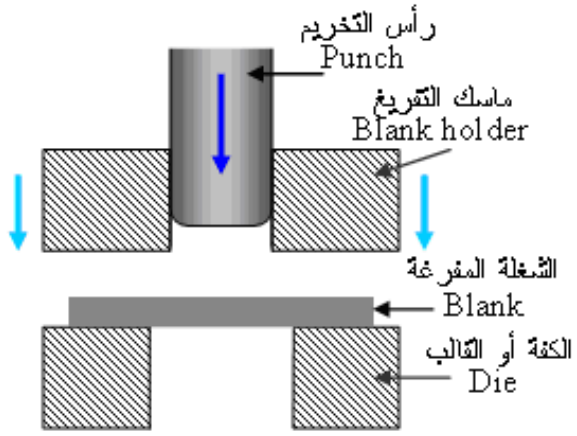
حول كل فتحة تم تخريمها، حلقة محيطية صغيرة تكون عادة مفككة الطبقات delaminated. كلما كان خلوص الخرم إلى الكفة أكبر كلما كانت مساحة تفكك الطبقات أكبر. إذا كان الخلوص في المدى من ٠،١٥٠-٠،٢٠٠ ملليمتر، فإن الفتحة تبدو مخوشة قليلاً، شكل (٦-٨) عند مخرج الخرم. للألواح المطبوعة والمحفورة بالاحماض، نجد أن تكبير جزء الثقب يكون على جانب العناصر الالكترونية ويجعل ادخال أرجل العناصر أسهل.



شكل رقم (٦-٨) يوضح حائط لفتحة مخرومة بطريقة نموذجية في لوح رقائقي فينولي مدعوم بالورق (FR-2).

قطر أى فتحة مخرومة يكون أصغر من قطر الخرم، هذا الخفض يزداد مع زيادة سمك اللوح المدعوم. وكمثال، إذا كانت الفتحة قطرها يساوي ١ مللمتر على لوح رقائقي بسمك ١٦/١ من البوصة (١،٥٩) فإن قطر عملية التخريم عادة يكون بقطر ١،١ ملليمتر.

ويعتبر تصميم ماسك تفريغ اللوح للكفة blank holder أيضاً هام جداً، الشكل رقم (٦-٩). العديد من مشاكل التخريم، خصوصاً تفكك الطبقات عند الوسادة pad delamination، يمكن أن يتسبب بواسطة الفعل الرديء أو ماسك اللوح المحمل بشكل غير كافٍ.



شكل رقم (٦-٩) يوضح مكونات ماكينة التخريم

الألواح الفينولية المدعومة بالورق paper-phenolic laminates (مثل XXX وما شابهها) يجب أن تسخن مسبقاً إلى درجة حرارة مقدارها ٥٠ إلى ٧٠ سنتيجراد(حوالي ١٢٠-١٦٠ فهرنهيت) قبل البدء في التخريم. الألواح المدعومة مثل XXXPC و FR-2 يتم تخريمها بسهولة عند درجة حرارة الغرفة بشرط أن تكون أعلى من ٢٠ سنتيجراد (٦٨ فهرنهيت).

ويجدر بالذكر أن قوة القص للوح المدعوم بالقماش الزجاجي أكبر من قوة القص للوح الفينولي المدعوم بالورق بحوالي ٧٠%. وبالتالي يتطلب أحمال عالية جداً لهذه الألواح البسيطة.

إذا كان هناك أجزاء أخرى، مثل الشقبيات slots أو الخطوط الخارجية للوح، مطلوب قصها معاً بتخريم فتحة، فإنه يجب أن يضاف مساحتها إلى مساحة حوائط الفتحة وهذا لحساب قوة الكبس المطلوبة.

عادة يكون للألواح المدعومة بشعيرات الزجاج الغير منسوجة non-woven glass reinforced laminates (لكلا النوعين الابوكسية والبوليسترية)، قابلية تخريم جيدة، بخلوص خرم إلى الكفة مقداره ٥٠-١٠٠ ميكرون (على القطر)، الفتحات يمكن أن يكون لها حوائط ناعمة كلما تم الاحتياج إلى تصفيحها أو طلائها.

٦-٢-٧ عملية التثقيب Drilling process :

القليل يتم تثقيبه باستخدام ماكينات ذات رأس ثقب مفردة بالتحكم اليدوي. يقوم المشغل بتحديد مراكز الوسائد خلال عدسة عينية أو بأدوات نسخ التصميم والرسوم البيانية مكبرة أو مصغرة pantograph.

بينما في خطوط الانتاج عادة يستخدم ماكينات ثقب محكومة عددياً numerically controlled drilling machines (الشكل رقم (٦-١٠) برؤوس عديدة (من ٣ إلى ١٢).

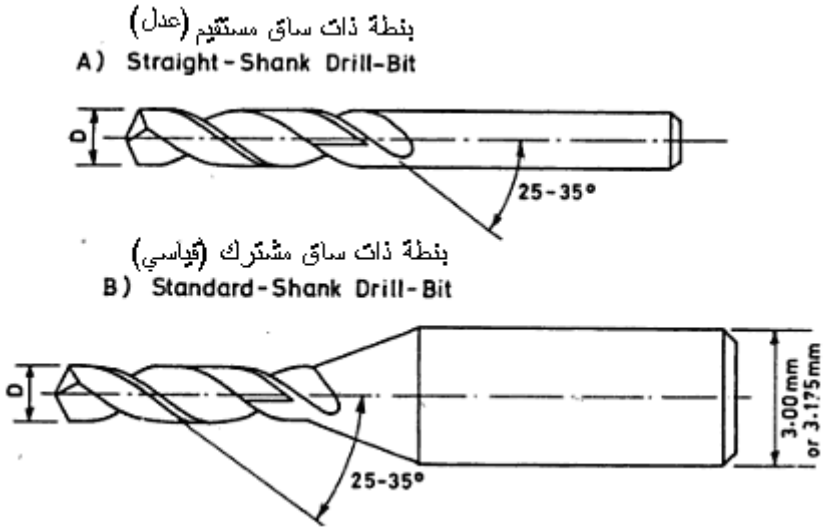
شكل رقم(٦-١٠) يوضح ماكينة ثقب محكومة عددياً مزودة بعدة رؤوس أقصى سرعة هى ٣٠٠ دورة ثقب لكل دقيقة

ويجدر بالذكر أن العناية مطلوبة في مثل هذه العمليات للحصول على سطح جيد لحوائط الفتحات المثقبة. أولاً يجب أختيار أداة التثقيب (البنطة) المناسبة لكل نوع من أنواع الألواح المدعومة. فمثلاً

الألواح الفينولية المدعومة بالورق يجب ثقبها بواسطة بنطة طويلة زاوية النقطة point angle مقدارها ١٠٠ درجة، بينما الألواح الابوكسية المدعومة بالزجاج يستحسن ثقبها ببنطة قصيرة بزاوية النقطة مقدارها ١٢٠ درجة. في كلا الحالتين يفضل أن تكون البنط من مادة صلدة (مصنعة من كربيد التنجستن، الويديا widia ، ..الخ). تقل جودة حوائط الفتحات المثقبة بسرعة بعد استخدام البنطة لثقب ٦٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠ ثقب خلال لوح مدعوم سمكه ١٦/١ بوصة (١،٥٩ ملليمتر) من الألواح المدعومة ذات التعريف التجاري G-10 أو FR-4 . العمر المفيد للبنط يجب أن ينجز طبقاً لعملية التصنيع والجودة المطلوبة لألواح الدائرة المطبوعة. بشكل دوري، يجب أن يتم تصفيح أو طلاء عينة من الالواح المثقبة بالطريقة الغير كهربائية Electroless copper، والتقطيع الدقيق والفحص خلال ميكروسكوب.

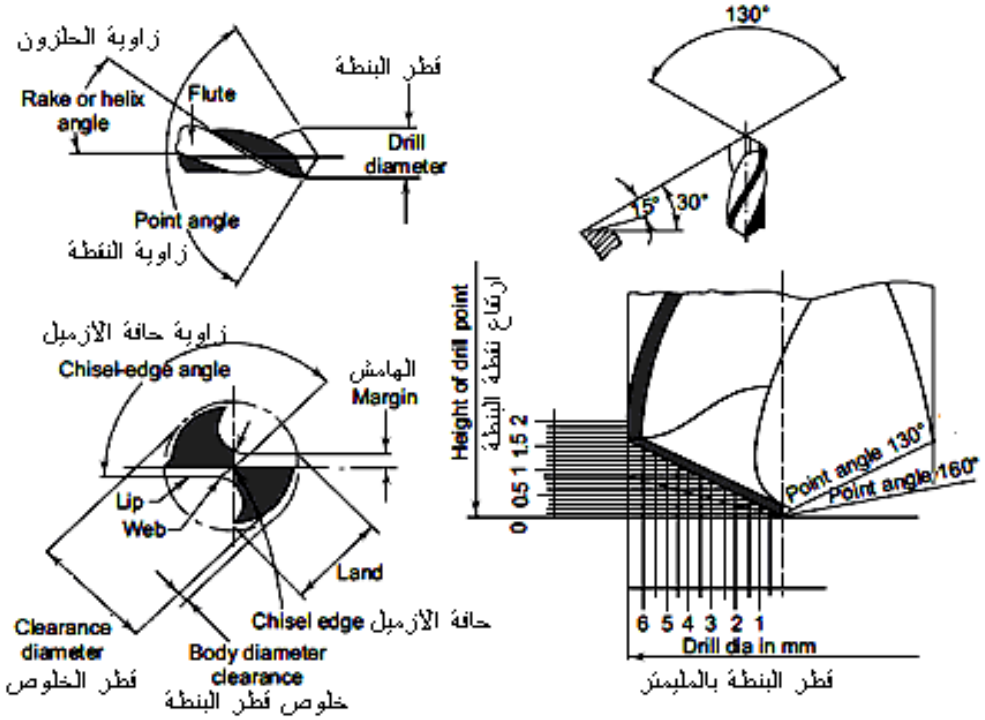
٦-٢-٧-١ هندسة البنطة (أداة القطع الاسطوانية) وأهميتِها:

البنط المستخدمة في حفر أو فتح أو ثقب الفتحاتِ في ألواح الدوائر المطبوعة تَصْنعُ عادة من فولاذِ السرعة العالية high speed steel [HSS] وكربيد التنجستن tungsten carbide. وهى متوفرة في شكلين: الساق المشترك common shank والساق المستقيم straight shank. الشكل رقم (٦-١١) يُصوّرَ تكوين الشكلين.



شكل رقم (٦-١١) يوضح أنواع بنط الثقب المستخدمة في تثقيب ألواح الدوائر المطبوعة

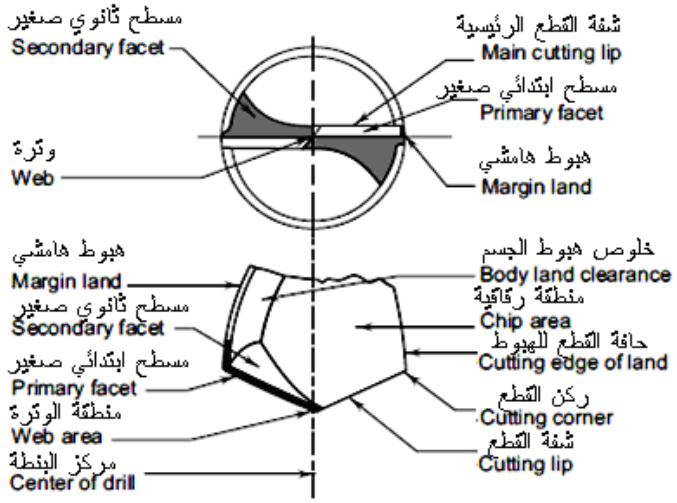
وظيفةَ البنطة هو قْطعَ وإزالة المادّةَ الاساسية والنحاس. لذا، فإن تصميم البنطة مهم كالموادِ المستعملة. التصميم وتآكله وتلفه أثناء الإستعمالِ يُؤثّرانِ على قدرتِه لإعطاء حائطِ الفتحةَ بالنعومة المطلوبة، بينما الحروق الداخلة والمغادرة تُزيلُ البرادة وتأثير درجة حرارة الثقب. لذا من المُهم فَهْم وظيفةِ وهندسةِ كُلّ جزء من البنطة. أغلب البنط المستخدمة في حفر لوح الدائرة المطبوعة تكون مِنْ تصميمِ الساقِ المشتركِ. هذا يَسْمحُ لماكينات الثقب باستخدام العديد من البنط المختلفة الاقطار فقط باستخدام ظرف مكمل واحد collet. الشكل (٦-١٢) يوضح هندسة تكوين البنط المثاليةِ. تحدد زاويةُ النقطةَ point angle قدرةَ الأداةِ لقَطْع مادّةِ اللوح المدعوم وهي تَتفاوتُ عادة بين ٩٠° إلى ١٣٠°. للمادّةِ المؤسسة على الورق (FR3)، تكون بين ٩٠ إلى ١١٠° بينما للمادة المؤسسة على الزجاجِ (FR4, G10, FR5)، تكون بين ١١٥ إلى ١٣٠°. زاوية النقطةِ الاكثر استعمالاً بوجه عام في عملية الثقب هى ١٣٠°.



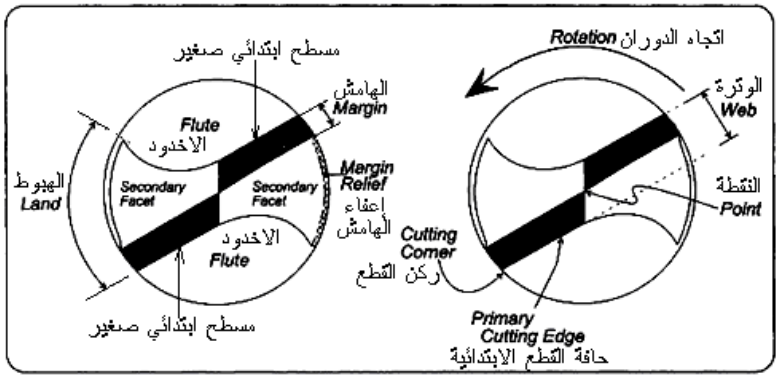
الشكل رقم (٦-١٢) يوضح هندسة تكوين البنط المثاليةِ

نقطة البنطة drill point لَها حافتان أساسيتانُ، ومتوازيتان لبعضهما البعض ومنفصلتان بالوترة web. بينما حافة القطع تسمى حافةَ الإزميلَ chisel edge. حافة القطع يَجِبُ أَنْ تَكُونَ مستقيمةَ للقطع الموحد والمنتظم ولا يَجِبُ أَن تحتوي على علاماتُ خدش. زوايا حافتى القطع، الشكل رقم (٦-١٣) يَجِبُ أَنْ تَكُونا متساويتان؛ وإلا لن تستطيع البنطة التمركز بالحفر عند مركز الفتحة.

تَتفاوتُ زاويةُ حواف القطع plate angle أَو زاويةَ اللولبِ helix angle مِنْ ٢٠ إلى ٥٠° وهى تحدد قدرةَ البنطة على إزالة البرادة مِنْ الفتحةِ. زاوية اللولبِ الكبيرةِ (٥٠°) نحتَاجها للإِطْمِئْنان على جودة إزالةِ الرقاقة ومنعْ كسرَ البنطة. الاخدود أو التحزيز في البنطة يَجِبُ أَنْ يُلمّعَ لتَخفيض الحرارةِ الإحتكاكيةِ ولإطالة عمر البنطة.



شكل رقم (٦-١٣) يوضح مكونات البنطة موضحاً موضع الوترة وحافة القطع



شكل رقم (٦-١٤) يوضح تسميات طرف البنطة

٦-٢-٧-٢ أنواعِ البنط :

عادة، أغلب ألواح الدوائر المطبوعة تكون مَثقبة ببنط الكربيدِ بدلاً مِنْ فولاذ السرعات العاليةِ (HSS). حيث أن بنط الكربيدِ تمتاز بمقاومتها الجيدةُ للسُخُونة والصلادة العاليةِ. نوعية أو جودة نقاطِ البنطة أَو حواف القطع للبنطة مهم جداً. لا يَجِبُ الضغط المفرط على البنطة في مقابل الأسطح المعدنيةِ أَو الصلدة لتجنّبْ الإضرَار بهندسةِ البنطة. سطح البنطة يَجِبُ أَنْ يُنظّفَ بواسطة ١ بالمائة من فوق فوسفات الصديوم trisodium phosphate في الماءِ لمدة من٢٠ إلى ٣٠ ثانيةِ. هذا يُزيلُ الزيوتَ والحطامَ مِنْ سطحِها.

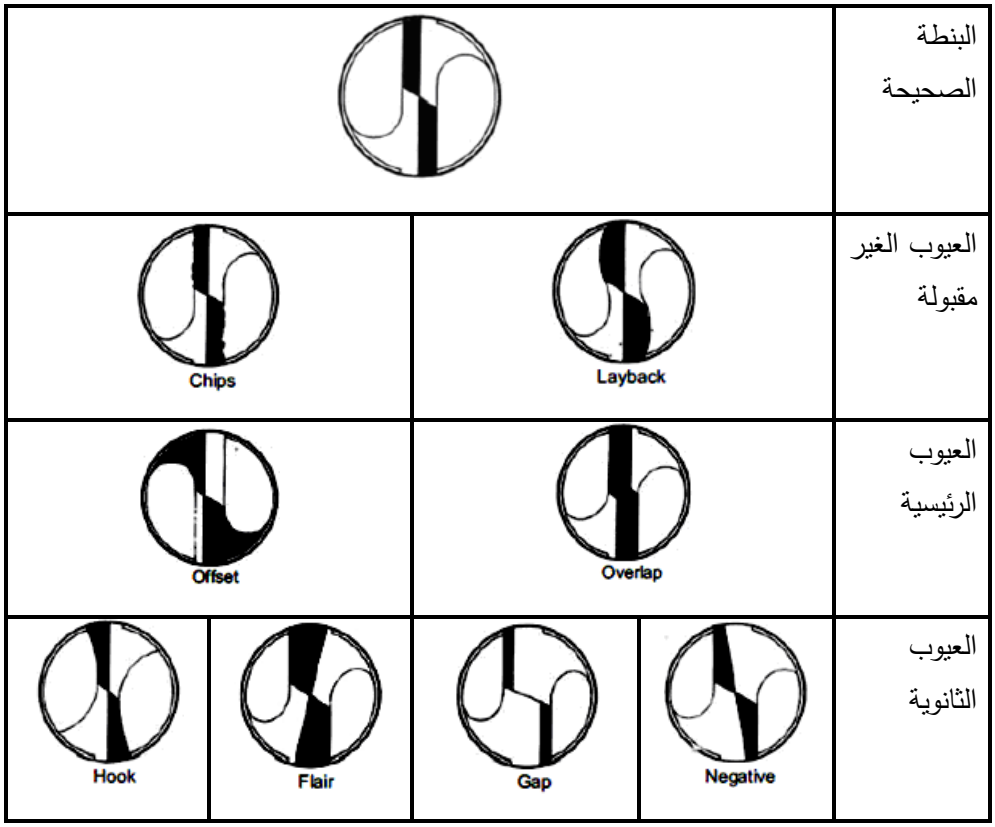
يعتبر الكربيد من المعادنَ الغير حديديةَ، حيث أنه صلد في حالتِه الطبيعيةِ. وبكلمة أخرى، هو لَيس تماماً مثل الفولاذ (الحديد الصلب). صلادته مُحدَّدةُ بعاملين هما، تركيب الكربيدِ ومعدنِ الإلتِصاق (الكوبالت). يحدد الكربيدُ بشكل أساسي مقاومةَ التآكل نتيجة للإحتكاك wear. بينما يحدد معدنُ الإلتِصاق القوّةَ بموجب نسبتها. تقدر الصلادة hardness بالقيمة من ٩.٩ إلى ٩.٨ على تدريج الموه للصلادة عند درجةِ الحرارة بين ١٣٠٠ إلى ١٦٠٠ سنتيجراد (مقياس موه أو مقياس موهز لصلادة المواد هو مقياس يستخدم للدلالة على قدرة المواد المختلفة على مقاومة الخدش. ويتم ذلك بفحص قدرة مادة صلبة على خدش مادة أقلّ صلابة منها). تنتج اليوم سبائكَ كوبالتِ كربيدِ التنجستنِ tungsten carbide cobalt بنسبة٩٤بالمائة كربيدَ تنجستنِ و٦ بالمائة كوبالتِ.

البنط القياسية المستخدمة لألواح الدوائر المطبوعة لفتحاتِ قطرها ٠.٠٢٤ "(٠.٦ مليمتر) وأكبر هى عبارة عن مادة مكونة من بللورات كربيد تنجستن المدعومة بمقاومةِ تآكل نتيجة للإحتكاك. تركيبها، وبمعنى آخر: ٩٤ بالمائة كربيد تنجستنِ (WC) و٦ بالمائة كوبالت (CO)، لتعطي ثقب بسرعةَ قصوى وحياةِ أطول لسَنَواتِ. للفتحاتِ بأقطارِ ٠.٠١٨" (٠.٤٥ مليمتر) أَو أصغر، يتصادف وجود مشاكل عدة في عملية الثقب للوح الدائرة المطبوعة. حيث تتضمّنْ تردد أعلى لكسرِ البنطة عند السحبُ، وزيادة نفاية موقعِ الفتحةِ، ونقصان في الناتجِ بسبب التخفيض في إرتفاعِ كومةِ ألواح الدائرة المطبوعة. وقد رؤى أن البنط المغطاة بالكربون الشبيه بالماس diamond-like carbon-coated drills (DLC) تُحسّنُ عمر النقطةِ، وتشتغلُ ٢٥ بالمائة أسرعَ مِنْ البنط التقليدية، ويعطي تحسينَ لموقعِ الفتحةِ، ويُحسّنُ المقدرة على المُنتَجاتِ الصعبةِ مثل الاطراف الأراضية الغير مستعملةِ unused lands والفتحاتِ بالمقاس الدقيق micro-sized holes.

٦-٢-٧-٣ فحص البنطة :

لوحظَ أنّ جودة حوائط الفتحةِ المَثقبة تَقل بسرعة بعد أن تقوم البنطة بثقب عدد من ٦,٠٠٠ – ١٠,٠٠٠ فتحة خلال لوح مدعوم سمكه ١.٥٩ مليمتر من النوع G-10 or FR-4 . تآكل البنطة نتيجة للإحتكاك تقريباً نفس الدرجاتِ الأخرى للألواح المدعومة مثل FR-2. على أية حال، يقدر بمرّتين أكبر لـ G-11 و FR-5 بنط صلدة يُمْكِنُ أَنْ تَعطي تقريباً مرّتين عمر البنط العاديةِ. لذا فإن فحص البنطة يعتبر مهمُ جداً في إنتاجِ لوح الدوائر المطبوعة، لأن الثقب لوحده يسبب تقريباً ٢٥ بالمائة مِنْ التكلفةِ الكلية للبطاقة الإلكترونية. لذا، فإن كامل هندسةِ الأداةِ متضمناً زاويةِ النقطةَ point angle، وزاوية الحلزون helix angle، وزاوية الخلوصclearance angle، وسُمك الوترة web thickness، وهامش العرضِ width margin، وخلوص الهبوط للجسمِ body land clearance، وعيوب في قطاع من الاخدود faults in the flute section، والطول الكلي overall length وطول الاخدود flute length وقطرِ البنطة drill diameter يَجِبُ أَنْ تفحص بإستعمال مجهرِ الورشةَ. أجهزة القياس الميكانيكيةِ لا يَجِبُ أَنْ تَكُونَ مستعملة لفحص البنطة حيث أنها قَدْ تُتلفُ هندسةَ البنطة، الشكل رقم (٦–١٥).

الاستخدام المفيد للبنط يجب أنْ يؤسّسَ على أساس عمليةِ التصنيع والجودة المطلوبة لألواح الدوائر المطبوعة لكي نحصل على جودة ثابتة للفتحاتِ. والطريق العملي لتنفيذ هذا هو أخذ عينة بشكل دوري للوح التشغيل المثقب، والقيام بطلائه بالنحاس بالطريقة الغير كهربائية، وتقسيمه إلى اقسام دقيقة microsection وفْحصُه خلال المجهر.



شكل رقم (٦-١٥) يوضح بعض العيوب الشائعة للبنط

٦-٢-٧-٤ عمر الأداةِ وإعادة تجليخها مرة ثانيةً (إعادة النقطة)

Tool Life and Re-grinding (Re-pointing):

حياةَ الأداةَ (البنطة) مدروسةُ من ناحية عددِ الفتحاتِ التي قامت بتثقيبها حتى يعاد تجليخ النقطة ثانيةً. نهاية عمر الأداةَ مُمَيَّزُة بالخصائصِ التاليةِ:

- نوع المادّةِ الأساسيةِ أالتي ستثقب؛
- كمية الفتحات؛ و
- ظروف القطع المطبقة.

وفي حالة تثقيب ألواحِ متعددةِ الطبقات ذات دقةَ عاليةَ، فإن البنطة تصبح مُتَغَيّرة بعد ٥٠٠ فتحةِ في الغالب. لثقب ألواح دوائر مزدوجة الجانب، فإن البنط تصبح مُتَغَيّرة بعد ٢٠٠٠ إلى ٣٠٠٠ فتحةِ في كومة من ثلاث ألواحِ عاليةِ. نهايةَ عمر الأداةَ تصبح مُحدَّدةُ بزيادة الرايش بشكل ثابت على الطبقةِ النحاسيةِ للوح الدائرة العليا. البنطة المملة سَتميلُ إلى الإنكِسار.

لكي تستمرَّ البنطة حادة ولتَفادي كسرِها، فإنها تستعمل عموماً لعدد من٧٥٠ إلى ١,٥٠٠ من الضربات على لوح الدائرة المتعددةِ الطبقات ولعدد من ٢٠٠٠ إلى ٣٠٠٠ ضربةِ على الألواحِ ثنائيةِ الجانب. ولعدد الضربات الأكثر مِنْ ٣٠٠٠ يُمْكِنُ أَنْ يُدرَكَ على الألواحِ الوحيدةِ الجانب.

بنط الكربيد لثقب ألواح الدوائر المطبوعة يُمكنُ أَنْ يعاد تجليخها من ٢–٥ مرات على ماكينات ذات أغراض خاصّةِ. أثناء إعادة التجليخ، نجد أن كامل الطولِ للهامشِ البالي تم تجليخه تماماً(بعيداً)، وإلا فإن البنطة المعاد تجليخها تصبح في مأزق في الفتحةِ. بَعْض ماكينات تجليخ البنط متوفرة ومزودة بالمجاهرِ الداخليةِ للتكبير حتى ٢٠ مرة. ألواح الدوائر المطبوعة بين ٠.٢ إلى ٠.٤ مليمترِ يُمكنُ أَنْ يعاد تجليخها بالدقّةِ وجودة التجليخ القصوى بإستعمال مثل هذه الماكينات. في حالة البنطة الأصغر، نجد أن عدد مرات إعادة النقطة أقل حيث القطر الاصغر للفتحات يكون أكثر حراجة ويتطلّبُ جودة عالية للفتحة المثقبة. تبديل البنطة وإعادة النقطة تمثل إنفاقَ كبيرَ لمنتجي البطاقة الإلكترونيةِ. لذا، التخزين الصحيح والمعالجة والفحص تكون حرجة لإحتِواء التكلفِة ولضمان الحَدّ الأعلى لفترة العمر والأداء الأمثل.

٦-٢-٧-٥ مقاسات البنط :

جدول رقم٦-١ مقاسات البنط — مكافئات عشرية ومترية

Size	Decimal	mm
85	0.011	0.2794
80	0.0135	0.3429
75	0.021	0.5334
70	0.028	0.7112
65	0.035	0.8890
60	0.040	1.0160
59	0.041	1.0414
58	0.042	1.0668
57	0.043	1.0922
56	0.0465	1.1811
55	0.052	1.3208
54	0.055	1.3970
53	0.0595	1.5113
52	0.0635	1.6129
51	0.067	1.7018
50	0.070	1.7780
49	0.073	1.8542
48	0.076	1.9304
47	0.0785	1.9939
46	0.081	2.0574
45	0.082	2.0828
44	0.086	2.1844
43	0.089	2.2606
42	0.0935	2.3749
41	0.096	2.4384
40	0.098	2.4892
39	0.0995	2.5273
38	0.1015	2.5780
37	0.104	2.6415

Size	Decimal	mm
36	0.1065	2.7050
35	0.110	2.7939
34	0.111	2.8193
33	0.113	2.8701
32	0.116	2.9463
31	0.120	3.0480
30	0.1285	3.2638
29	0.136	3.4543
28	0.1405	3.5686
27	0.144	3.6576
26	0.147	3.7337
25	0.1495	3.7972
24	0.152	3.8607
23	0.154	3.9115
22	0.157	3.9877
21	0.159	4.0385
20	0.161	4.0893
19	0.166	4.2163
18	0.1695	4.3052
17	0.173	4.3941
16	0.177	4.4957
15	0.180	4.5719
14	0.182	4.6227
13	0.185	4.6989
12	0.189	4.8005
11	0.191	4.8513
10	0.1935	4.9148
9	0.196	4.9783
8	0.199	5.0545

٦-٢-٧-٦ متطلبات عند اجراء التثقيب :

لتنفيذ عملية تثقيب جيدةٍ يَجِبُ أَنْ نستوفى الشروطَ التاليةَ:

- جودة عالية متماسكة ومتناغمة؛

- تصفيح مثالي للفتحات الخلالية؛
- القطر الأصغر، مسافة أقصر بين الفتحاتِ؛
- الإنتاج الأعظم؛ و
- التكلفة الأقل والتخزين البسيط.

كُلّ هذه العواملِ تُنجزُ بسهولة في عملية الثقب المحكومة بالحاسب CNC، وسنوضحه في مرحلة تالية

٦-٢-٧-٧ سرعة الثقب، ومعدلات الإنسحابَ والتغذية :

السرعةَ والتغذية هما من شروطَ القطع الملتزم.

سرعة الثقب Drill Speed : سرعةَ الثقب هى سرعةُ محور المثقاب والتي يعبر عنها بوحدة دورة في الدقيقةِ (rpm). تعتبر السرعة ١٥,٠٠٠ دورة/دقيقة سرعة دنيا، لتثقيب لوح دائرة مطبوعة. على أية حال، المدى المُفَضَّل هو ٢٠,٠٠٠-٦٠,٠٠٠ دورة/دقيقة.

معدل التغذية Feed Rate : تشيرُ التغذية إلى العمقِ الذي تخترقُه البنطة داخل المادّةِ في لفة واحدة للمحور. وتعرف التغذية بوحدة المليمترِ/دورة mm/revolution وتحدد كالتّالي:

$$\text{Feed} = \frac{\text{Feed in mts/min} \times 1000}{\text{Speed in rpm}}$$

أفضل النَتائِجِ المكتسبة من معدلات التغذية القابلة للتعديلَ أو الضبط بدون خطواتِ في مدى ٠.٠٠١-٠.٠٠٥ مليمتر لكلّ دورة للبنطة. تجهز ماكينات التثقيب عادة بوسيلة سيطرةِ على سرعةِ البنطة ومعدل التغذية. بسرعةِ البنطة في مدى ١٥,٠٠٠-٦٠,٠٠٠ دورة/دقيقة، يتم ضبط التغذية طبقاً للسرعة لكي تتقدم البنطة كالتّالي:

- For smooth holes : 10-30 microns/revolution
- For PTH hole work : 30-60 microns/revolution
- For low accuracy holes : 60-100 microns/revolution

سرعة القطع Cutting Speed : سرعةَ القطع هى الطريقُ المغَطّى بأحد اركان القطع عند سرعة مناظرة خلال وحدة زمنية معلومة. سرعةَ القطع منصوصةُ في متر/دقيقة (m/min) ومُحدَّدةُ كالتّالي:

$$Cutting\ Speed = \frac{Drill\ dia \times \pi \times Speed\ in\ rpm}{1000}$$

لبنط كربيدِ التنجستنِ، سرعة القطع الموصّى بها في مدى ٧٠-٢٠٠ متر/دقيقة (m/min).

معدل الإنسحاب Withdrawal Rate : الزمن المأخوذ بواسطة البنطة للخروج بعد عملية التثقيب تسمى معدل الإنسحابَ.

٦-٣ نوعية أو جودة الفتحةِ HOLE QUALITY

٦-٣-١ تعريفِ المصطلحات :

المصطلحات الموضحة في الجدولين (٦-٢) و(٦-٣)عموماً تُستَعملُ لوَصْف عيوبِ الفتحةِ المثقبة الملاحظة في أسطح النحاس ولوح البنية التحتية. من المُهِم أَنْ تكُونَ قادر على تَمييز هذه العيوبِ بدلاً مِنْ المصطلحات عُموماً. إستعمال مصطلح عام مثل الخشونة roughness قَدْ يَدْلُّ على الفراغاتِ voids أَو الحِراثَة plowing. بينما الفراغات هى نوع ميكانيكي مِنْ العيوبِ، والحِراثَة نوع من العيوب المتعلّقة بالحرارةَ. لذا، فإن الفراغات المفرطة قد تَقُودُ الفرد لفَحْص حملِ الرقاقةَ chip load المستعملَ؛ بينما قد تقود الحِراثَة الفرد للنَظْر إلى السرعةِ السطحيّةِ (سرعة المغزلِ).

جدول رقم (٦-٢) يوضح عيوب النحاس

Defect	Definition	Type
Burr	Ridge left on external surface	Mechanical
Debris	Drilling residues	Mechanical
Delamination	Separation of the copper from the substrate	Mechanical/heat-related
Nail-heading	Burr on internal copper layer	Mechanical/heat-related
Smearing	Thermomechanically bonded resin deposit	Heat-related

جدول رقم (٦-٣) يوضح عيوب البنية التحتية

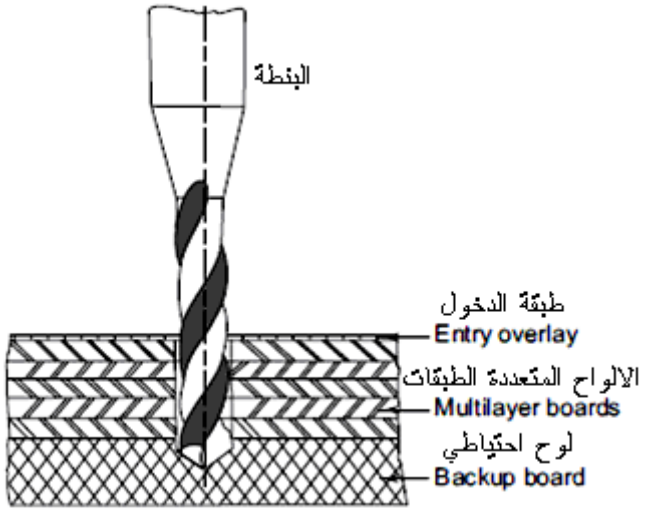
Defect	Definition	Type
Debris pack	Drilling residues packed into voids	Mechanical
Delamination	Separation of the substrate layers	Mechanical/heat-related
Loose fibers	Unsupported fibers in the hole wall	Mechanical
Plowing	Furrows in the resin	Heat-related
Smear	Thermomechanically bonded resin deposit	Heat-related
Voids	Cavities due to torn-out supporting fibers	Mechanical

٦-٣-٢ دخول وخروج البنطة خلال المواد الاحتياطية أو الإسنادية Drill Entry and Exit (Back-up) Materials:

صفيحة الدخولَ والصفائح الإحتياطيةَ مستعملة أثناء الحفر لمنع تشكيلَ الرايش عند دخولِ وخروج البنطة، الشكل رقم (٦-١٦). التنظيف والتَبريد للبنطة أثناء الحفر يَتم عمله أيضاً بصفائح الدخولِ/الإحتياطية (الاسنادية). لذا، الإختيار الصحيح لصفائح الدخولَ والدعمَ الاحتياطي، ومادّتها مهم جداً.

مادّة دخولِ البنطة Drill Entry Material:

الغرضَ الرئيسيَ من مادّةِ الدخولَ هو مْنعَ كسرَ البنطة بالإضافة، إلى المساعدة على تَجَنُّب الضَرَر لسطح قمة اللوح المدعوم بالأخص طبقة النحاس، مثل ظهور القشور (الرايش burrs) النحاسية، وخفض تلوّثِ الفتحةِ وبنطة الثقب، ولمَنْع ظهور آثار علامات قدمِ الضغطِ مِنْ ماكينة الحفر.



شكل رقم (٦-١٦) يوضح لوح الدخول واللوح الاحتياطي

هناك العديد مِنْ أنواعِ موادِ الدخولِ متوفرة. مثل مركب الألومنيوم والألومنيوم الصلبِ، ومنتجات الميلامين melamine والفينوليات المكسوة بالالومنيوم phenolics الأكثر شيوعاً. وتمتاز مركّبات الألومنيومِ، بعدم ترك الفتحة ملوّثَة. من الناحية الأخرى، يعطي الألومنيومَ الصلبَ إخمادَ جيد للرايش ولا يتواجد التلوّثَ، لكنه يَزِيدُ من خطرَ كسرِ البنطة ذات القطرِ الصغير. تعتبر المواد الفينولية أقل غلاءً، لكنها في أغلب الأحيان تلتوي ويُمْكِنها أَنْ تُلوّثَ حائطَ الفتحةَ الذي قَدْ يُؤدّي إلي مشاكل في العمليات اللاحقةِ.

المادّة الإحتياطية (الاسنادية) Back-up Material:

المادّة الإحتياطية (الاسنادية) مَوْضُوعةُ على الجانب السفلي مِنْ كومةِ الألواح المراد تثقيبها والغرض منها هو منع خروجَ القشور النحاسية copper burrs من أسفل ولإعطاء فضاءِ كافي لإنهاءِ ضربةِ البنطة ولحماية البنطة ومنضدة المثقاب من التدمير نتيجة الاصطدام ببعضهما البعض. أي مادّة إحتياطية جيدة يَجِبُ أَنْ لا تلوّثَ الفتحةَ وتساعد على تُبرّيدُ البنطة، وبذلك نحسّنُ من جودة الفتحةَ.

هناك تَشْكِيلة كبيرة مِنْ الموادِ الإحتياطيةِ (الاسنادية) متوفرة لألواح الدوائر المطبوعة. على أية حال، هناك فقط بِضْع مواد منها ما تم هندسته بشكل مُحدّد لثقب البطاقات الإلكترونيةِ. تَتضمّنُ الموادُ المثاليةُ مركبات اللب الخشبي والقشرة الألومنيومِ، ومركبات اللب الخشبي والقشرة الميلامينية بالورق، والفينوليات الصلبة واللوح الصلب الراتنجي المؤسس على الورق.

تصْنَعُ المادّةَ المستعملة عموماً من الخشبِ المَضْغُوطِ خصيصاً أو خَلِيْط اللبِّ كمادّة رئيسية بشرائح الألمنيومِ المُتصَلَّبِ hardened aluminium المثبت على كلا الجانبينِ. الحشو الخشبي خال مِنْ إضافاتِ الراتنجِ، وله قابليةُ إمتصاصِ حرارةِ عاليةِ جداً والعمل كمادة مبردة جافة للبنطة. الرايش مِنْ الألمنيومِ المُتصَلَّبِ، يحفظ حافة القطع للبنطة سليمة ولا تسْمحُ لبقاء الراتنجِ الابوكسي للتواجد والتراكم على الاخدود الحلزوني spiral flutes .

الصفيحة الإحتياطية (الاسنادية) back-up plate يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ مِنْ كلا الجانبينِ، إذا كان عمقِ الحفر الصحيحِ تم اختياره.

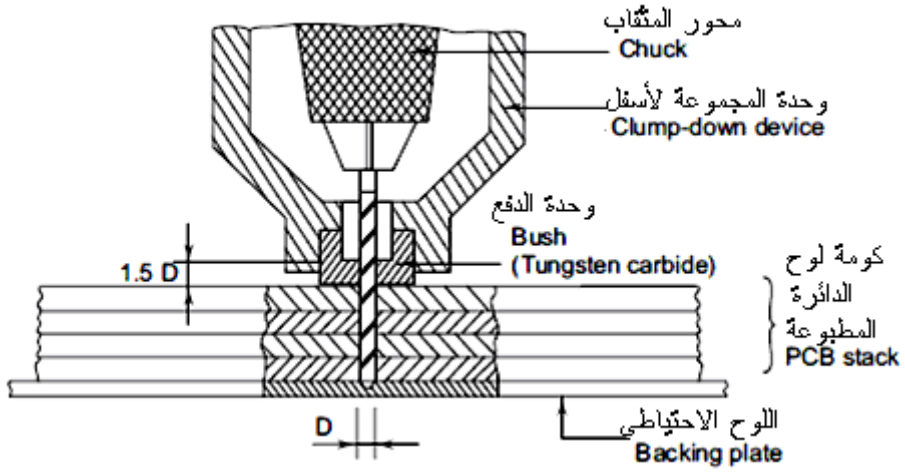
المادّة الإحتياطية (الاسنادية) يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها سُمك ضيّق ومسموح لها بقدر من التفاوت في التسطح flatness. يَجِبُ أَنْ لا تحتوي على مواد حاكّة abrasives تَزِيدُ من تآكل البنطة أَو ملوثات يُمْكِنُها أَنْ تدخل في تجويف الفتحات المثقبة. السطح يَجِبُ أَنْ يَكُونَ ناعمَ ليعمل على التخلص من قشورَ أو رايش الخروجِexit burrs بشكل صحيح.

٦-٣-٣ إستعمالِ وحدة دفع أو وحدة مهيئة للبنطة

Use of Drill Bush/Collar:

تلْعبُ وحدة دفع البنطة drill bush دوراً مهماً في ثقب البطاقات الإلكترونيةِ. الغرضَ الوحيدَ لوحدة دفع البنطة هو التثبيت الدقيق لموقعَ فتحةِ التثقيب بالضبط. تَصْنعُ وحدات الدفع هذه من مادِة كربيدِ التنجستنِ وهى مطلوبة حيث أنَّ دقة الموقعِ النهائي مطلوبة. لذا فإن قطر وحدة الدفع يَجِبُ أَنْ يتوافق مع قطرَ البنطة. يُؤدّي التثبيت الغير جيد للبنطة إلى التَمَركُز السيّئِ وعدم انضباطها، وفعل ناقص يؤدّي إلى تآكل أكبر على هوامشِ وحواف القطع للبنطة. تعمل وحدة الدفع أيضاً على

التخلص من تشكيلِ الرايش عند نقطة دخول البنطة. وحدات الدفع، شكل رقم (٦-١٧) هى عبارة عن أدواتَ عالية الدقة ومطلوبة لكي تُصْنَعَ بتفاوتات في مدى الميكرونَ.



شكل رقم (٦-١٧) يوضح كيفية استخدام وحدة الدفع للبنطة

٦-٣-٤ عملية التثقيب وأنواع الألواح المدعومة
:Drilling and Types of Laminates

الالواح المدعومة مصنّعة طبقاً للمواصفات النموذجيةِ لخواص كهربائيةِ وطبيعيةِ مطلوبةِ. تَعتمدُ جودة التثقيب على جودة الراتنج والألياف الداعمة للألواح المدعومة. بَعْض الالواح المدعومة ذات القشرة النحاسية المتوفرة عموماً مثل G-10، وepoxy glass/FR4، وpolyamide glass، وphenolic glass، وphenolic paper، وepoxy paper، وTeflon glass و polyamide و quartz.

من الضروريُ إنْجاز تشطيب سطحي جيد لحوائط الفتحةِ المَحْفُورةِ (المثقبة). يعتمد التشطيب السطحي على إختيارِ البنطة، وسرعة التثقيب rpm ومعدل التغذية. وإذا لَمْ يتم اختيارها بشكل صحيح، فإنه سيظهر هناك مشاكل مثل التَلْطيخ smearing نتيجة لحدوث الراتنجِ المُفَحَّمِ وحرارةِ الإحتكاكِ. وبقاء الرايش الناتج عن الموادِ الداعمة على حائطِ الفتحاتِ يؤدي إلى تكون أساس سيّئ

جداً لعمليةِ التعدين metallization. هذا سَيسبّبُ مساميةَ عاليةَ لمعدنِ الطلاء وإمتصاصِ عالٍي لسائلِ الطلاء والرطوبة، الذي بدوره، سَيَخْلقُ الفراغاتَ voids في الراتنجِ المُفَحَّمِ. انفجار الفتحات [outgassing خروج الغاز] أثناء عملية اللحام يحدث أيضاً نتيجة للمشاكلِ المذكورة أعلاهِ.

تعتبر خصائص الإستقرار البعدي Dimensional stability، والاعوجاج (الالتواء) warp، والليّ للألواح المدعومة على درجة كبيرة من الأهمية لعملياتِ التثقيب. الألواح المدعومة التي لَيستْ مستوية تنتهي بفتحاتِ ذات رايش طرفي burred عادة. ويجدر بالذكر أن نوع النسيج وسُمك الألياف للوح المدعوم يُؤثّرانِ على شرود البنطة. ويكون نتيجة الشرود المفرط للبنطة، فتحات رديئةِ الجودة. نحصل على الأداء الأقل شروداً للبنطة إذا كانت أليافَ اللوح المدعوم دقيقة.

أي بنطة مناسبة يجب أنْ تختَارَ حسب نوع اللوح المدعوم للحُصُول على فتحاتِ تثقيب عالية الجودة. الألواح المدعومة من النوع الفينولي الورقي يَجِبُ تثقب بواسطة بنطة ذات حلزون أو لي طويل مَع نقطة زاوية مقدارها ١٠٠°، بينما الألواح المدعومة من النوع الابوكسي الزجاجي تكون الاحسن ميكنة بواسطة البنطة قصيرة الحلزون مَع نقطة زاوية حوالي ١٢٠°. على أية حال، في كلا الحالتين، البنط المستعملة تكون مِنْ النوعِ المصنع من كربيدِ التنجستنَ.

لكي نعوّضَ مرونةً اللوح المدعوم، قطر البنطة يَختَارُ بقطر أكبر بعض الشّيء مِنْ قطرِ الفتحةَ المتَوقّعَة. لذا، فإن قطر الفتحاتِ المَثقبة سَيَكُونُ عادة أصغر مِنْ قطرِ البنطة المستعملة. الإختلاف يُمكنُ أَنْ يَكُونَ ٥٠ ميكرونَ لأقطارِ الفتحةِ حتى ٢ مليمتر و١٠٠ ميكرون للفتحاتِ الأكبرِ. لألواحِ الفتحات المطلية الجدران PTH، السماحية يَجِبُ أيضاً أَنْ تَكُونَ مجهّزة لسُمك التصفيح. لذا، الفتحة المطلية بقطرِ ١ مليمترِ ستنفذ ببنطة قطرها ١.١ مليمتر.

تفاوت قطرِ الفتحةِ التاليةِ مقبولة عموماً، مالم تحدّد مواصفات أخرى:

$$D \le 0.8 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \pm 0.05 \text{ mm}$$
$$D > 0.8 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \pm 0.1 \text{ mm}$$

حيث D قطرَ الفتحةَ.

٦-٣-٥ أمثلةٍ من عيوب الفتحةِ المثقبة :

تحدث الفتحات المعيوبة بسبب الهندسةِ الغير صحيحةِ للبنطة، وسرعة الثقب، ومعدلات التغذية والمواد الأساسية المُعَالَجة بطريقة غير مناسبة. ما يلي هي العيوبُ الرئيسيةُ التي تم ملاحظتها في الفتحةِ المَثقبة:

- لطخ الراتنجِ المنصهر Resin smear؛
- تسخين المسمارِ Nail heating ؛ و
- الخشونة Roughness.

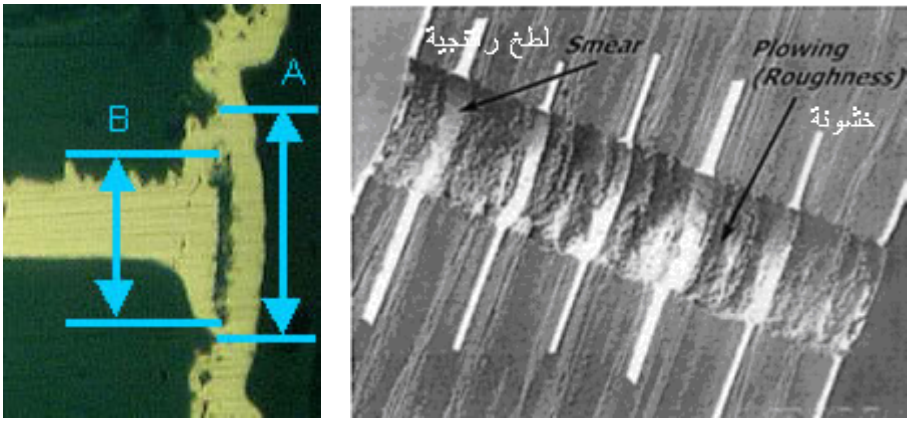
لطخة الراتنجِ المنصهر Resin Smear:

تتكون لطخة الراتنج متى ارتفعت درجة حرارة الراتنجَ ما بعد درجةِ إنصهاره (١١٥ سنتيجراد) نتيجة لسرعة البنطة الغير مناسبة.

نسبة لطخ الراتنجِ [%] = B/A x 100

A: سُمك طبقةِ النحاس الداخليةِ [µm]

B: عرض لطخة الراتنجِ [µm]



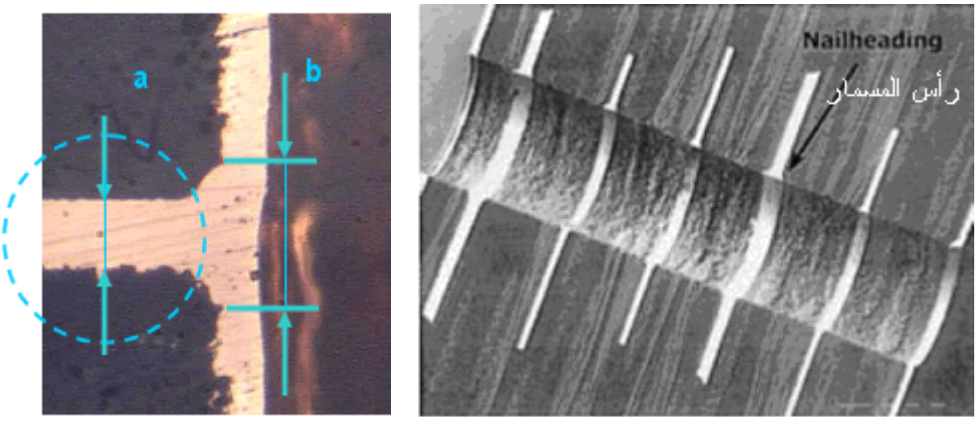
شكل رقم (٦-١٨) يوضح مقطع لفتحة مثقبة توضح لطخة الراتنج بالفتحة

تسخين المسمارِ Nail Heating : هذا يَدُلُّ على الإحتراق المفرطِ على حائطِ الفتحةَ عندما لا تتوازن سرعةَ كل من التغذية والثقب بهندسةِ البنطة.

Nail Head[%]= b/a x 100

[a: Copper layer thickness, µm]

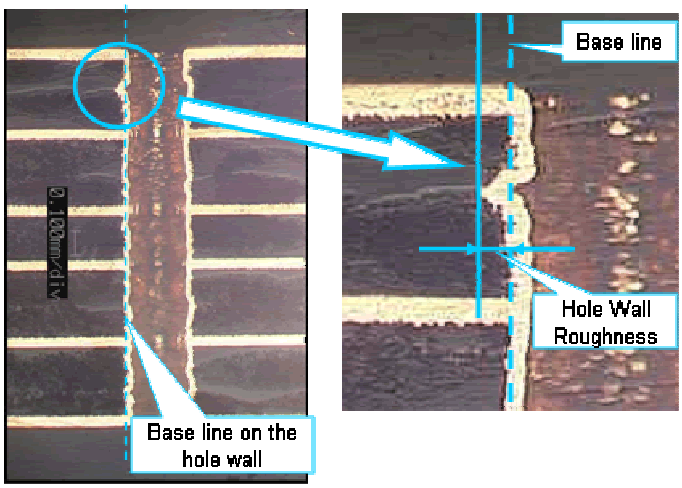
[b: Nail head width, µm]



شكل رقم (٦-١٩) يوضح مقطع لفتحة مثقبة توضح رأس المسمار بالفتحة

الخشونة Roughness:

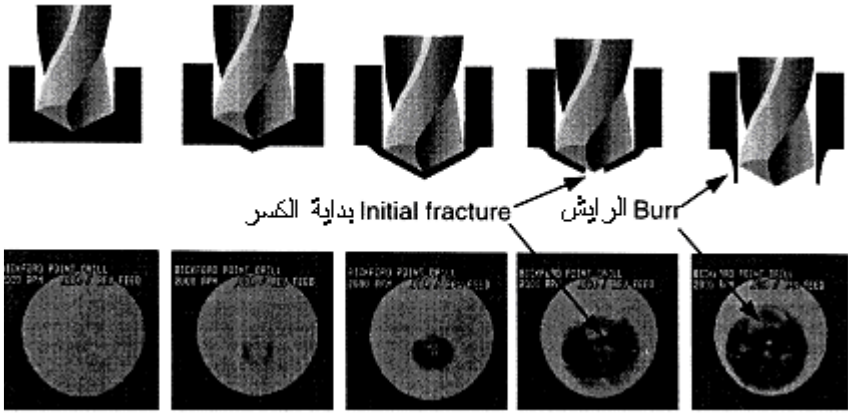
عضو أعلى مِنْ رايش الفتحات المثقبة وحوائط الثقب الخشن بسبب الجودة السيِّئة للبنطة.



شكل رقم (٦-٢٠) يوضح مقطع لفتحة مثقبة توضح خشونة جدار الفتحة

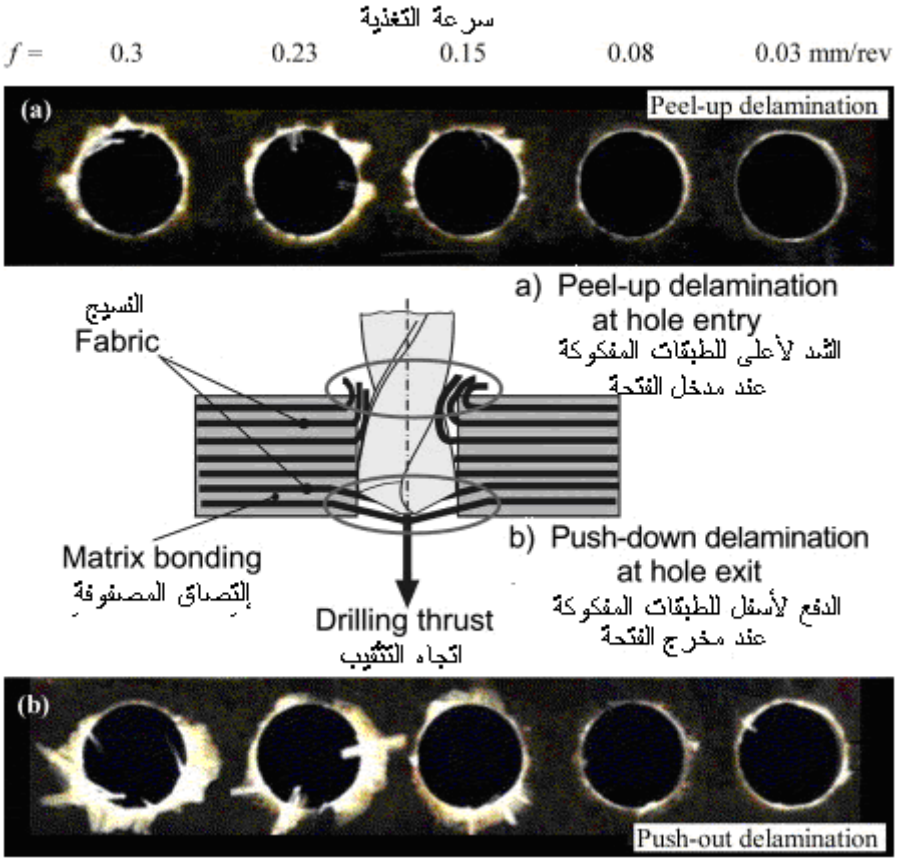
رايش حواف واجهة الخروج للفتحة المثقبة Burr

نتيجة لمعدل التغذية المفرطة يؤدي ذلك إلى تمزق الطبقة الرفيعة قبل اختراق سطح اللوح مما يدفع إلى بروز حواف حادة تسمى بالرايش Burr كما بالشكل رقم (٦-٢١).



شكل رقم (٦-٢١) يوضح كيفية تكوين رايش على حواف واجهة الخروج للفتحة المثقبة

الشكل رقم (٦-٢٢) يوضح تفسير أعمق لما يتم في مثل الحالة السابقة عندما يكون اللوح متكون من عدد من الطبقات الداعمة يتخللها الراتنج. حيث أن الدفع للبنطة في اتجاه التغذية يعمل على تمزيق وسط المادة لتحقيق مبدأ الاختراق. بينما الأخاديد بالبنطة واتجاه الحلزون الفراغي يعملان على تفريغ الرايش الناتج (النفايات) إلى أعلى سطح المادة الجاري ثقبها. وبالتالي يجب على القاريء الملاحظة الدقيقة للشكل المذكور عند سرعات تغذية مختلفة حتى يستنتج التخيل الصحيح وصقل مهارته عند إجاء عملية تنفيذ الثقوب.



شكل رقم (٦-٢٢) يوضح كيفية تكوين رايش على حواف واجهة الدخول والخروج للفتحة المثقبة عند سرعات تغذية مختلفة

سرعة التغذية وأثرها في تكون اللطخ:

كل من سرعة التغذية وسرعة القطع يحددان جودة الفتحةَ، كما وتؤثّرُ على جودة وعمر الأداة. ترتفع الحرارة حيث تنسب درجة الحرارة الناتجة أثناء التثقيب إلى الزمن المستغرق مباشرة في عملية التثقيب لتنفيذ الفتحة المثقبة.

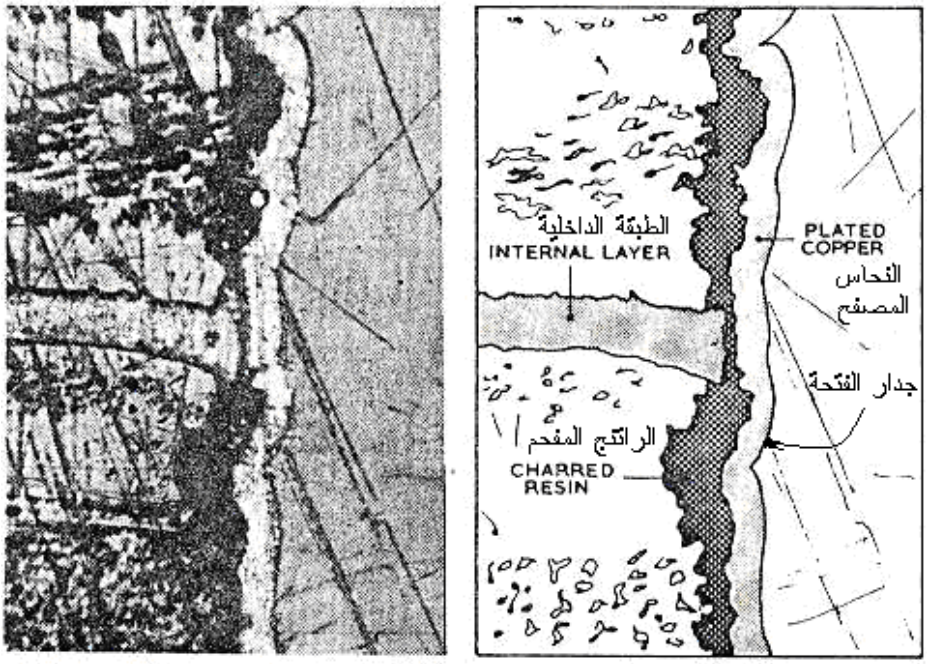
سرعة التغذية العالية تخفّضُ وقتَ التثقيب وسرعةَ القطع المنخفضةَ وتقلل من إحتكاكَ البنطة على حائط الفتحةِ. هذا، بدوره، يُخفّضُ تصعيدَ (ارتفاع) الحرارةِ. وتَمْنعُ المستويات الأدنى مِنْ تصعيدِ الحرارةِ، وظهور التلطيخ smearing الناتج عن الراتنجَ والابوكسي في الفتحةِ المَثقبة وتُخفّضُ احتكاك البنطة.

إذا كانت سرعة التغذية سريعة جداً، فإن هذا سَيُؤدّي إلى الفتحاتِ القاسيةِ أَو كسر البنطة. وإذا كانت بطيئُة جداً، فإن البنطة سَتدُارْ بإفراط في الفتحةِ. وتكون النتيجة ارتفاع الحرارةِ وانتشار لطخ الراتنجِ المفرطةِ على طول حوائط الفتحاتِ.

على سبيل المثال ، سرعة التغذية الأقل مِنْ ٠.٠٢ مليمترِ لكلّ دورة، لا يَجِبُ أَنْ تستعمل حيث توصيات القطع تنص على عدم استغراق عملية القطع لوقت زائد. لأنّ النتيجةَ ستكون ارتفاع الحرارةِ وتآكل البنطة. عادة تقوم البنط بتثقيب المادّةِ المؤسسة على الورق والمؤسسة على الزجاجِ عادة عند سرعات التغذية من ٠.٠٠٠١ إلى ٠.٠٠٣ بوصةِ (٠.٠٠٢٥ إلى ٠.٠٧٥ مليمترِ) لكلّ دورة للثقب. البنط الأصغرِ قَدْ تَحْفرُ عند سرعة تغذية ٠.٠٠٠٩ بوصةِ (٠.٠٢٢٥ مليمتر) لكلّ دورة. البنطة الإلتوائية الطويلةِ مَع ١٠٠° مِنْ زاويةِ النقطةِ point angle مناسبةُ لثقب اللوح المدعوم الفينولي. بينما البنطة الإلتوائية القصيرةِ Short twist drill bit مَع ١٢٠° مِنْ زاويةِ النقطةِ مناسبةُ لثقب اللوح المدعوم الابوكسي والزجاج.

الممارسةَ العامّةَ هو تُكدّيسَ ٣–٤ من ألوح التشغيل panels، كُلّ منها بسمك ١.٥٩ مليمتر، لكي تقوم كل رأس تثقيب بثقب الفتحات بشكل آني. كُلّ كومة مجهزة بلوح تشغيل إحتياطي، عادة لوح مدعوم بدون ورق نحاس رقيق، للسماح للبنط بالمرور بطريقة متزنة خلال كُلّ ألواح التشغيل.
الثقوب التي سيتم طلاء حوائطها الداخلية يجب أن تكون مثقبة على ماكينات مجهزة بالتحكم في سرعة عملية الثقب drill speed (rpm) ومعدل التغذية feed rate . مدى الدورة لكل دقيقة rpm يساوي عادة من ١٥٠٠٠ إلى ٦٠٠٠٠ ، بينما التغذية يتم ضبطها طبقاً للسرعة لكي تتقدم البنطة حوالي من ١٠ إلى ٣٠ ميكرون لكل دورة عندما يكون الهدف الحصول على سطح ناعم جداً، و من ٣٠–٦٠ ميكرون لشغل الثقب المطلي الجدران PTH العادي ومن ٦٠–١٠٠ ميكرون للثقوب ذات الدقة المنخفضة والتي لا يتم طلائها من الداخل.

الثقب الأكبر قطراً، يجب أن يكون الأقل سرعة دوران. يحفظ العديد من صناع الواح الدوائر المطبوعة سرعة القطع للبنطة بين ٩٠ و ١٢٠ ..لكل دقيقة.



شكل رقم (٦-٢٣) يوضح ظهور التلطخ في لوح الدائرة المطبوعة متعددة الطبقات:
الشكل يوضح صورة فوتوغرافية والاخرى تخطيطية للتوضيح عليها. ومن الشكلين يتضح الاتي:
التوصيل بين تصفيح الثقب (الرأسي) والطبقة الموصلة الداخلية حيث تكون مفصولة ومشوهة بالراتنج المتفحم.

اختيار البنطة، وسرعة الدوران rpm ومعدل التغذية يجب أن يتوافق مع تدفقات ناتج خرط المعادن swarf flows بطول الثقب لأعلى إلى السطح، حيث يجب أن تزال، على سبيل المثال، يجب تزويد ماكينة التثقيب بجهاز تفريغ vaccum device. إذا لم تتدفق نواتج قطع البنطة عند تنفيذ ثقب للخارج، فإن الاحتكاك سوف يسخنها ويسبب تفحمها وحرق الراتنج ونشارة المادة الداعمة. نتيجة لذلك تتكون لطخة الراتنج ونشارة المادة الداعمة المحترقتان حيث تبقى على حوائط الثقوب

وتؤدي إلى تكون قاعدة رديئة جداً لعملية التصفيح التالية. وهذا سيسبب طلاء معدني عالي المسامية وامتصاص عالٍ للسوائل والرطوبة ..الخ، بواسطة الراتنج المتفحم. إزالة الغازات المتشربة outgassing بالحرارة خلال اللحام يُحتملُ أَنْ يَكُونَ حادّ بالمشاكلِ التابعةِ لمستخدم اللوح.

التَلْطيخ smearing ضارُ لدرجة أكبر في ألواح الدوائر المتعددة الطبقات multilayer. بالاضافة إلى المشاكل المتكونة بواسطة المسامية porosity والامتصاص absorption، بعض الراتنج يلطخ على النحاس المثقب على موصلات الطبقات الداخلية. وبالتالي لا يستطيع نحاس التصفيح التماس مع نحاس طبقات الموصلات الداخلية من جراء عملية الثقب الشكل رقم (٦-٢٣) وبالتالي يجب أن يلفظ اللوح ويعتبر معيباً.

بعد تقطيع لوح التشغيل panel بسمك ١٦/١ بوصة إلى مساحات ألواح الدائرة المطبوعة المراد تنفيذها، يتم وضع عدد من ٣ إلى ٤ من ألواح التشغيل panel فوق بعضها البعض والعمل على تثبيتهم على منضدة المثقاب لكي يقوم كل رأس تثقيب بثقب الالواح معاً مرة واحدة. نفس مسامير الدليل على المنضدة تقوم بتثبيت ومسك الواح التشغيل panels معاً حيث يمكن أن تكون مستخدمة لتثبيت كومة الالواح تحت الرأس لماكينة التثقيب. كل كومة من ألواح التشغيل panel يوضع تحتها لوحة نسخة back-up panel من مادة رخيصة (عادة لوح رقائقي بدون ورق نحاسي مثل X و XP وأحياناً لوح من مادة الماسونيت masonite – لوح مصنوع من ألياف الخشب المضغوط، أو أى منتج مشابه) ليسمح للبنط بالمرور الفعلي خلال كل الالواح المطلوب ثقبها.

إذا تتطلب ثقب اللوح بثقوب مختلفة الاقطار، من الضروري تكرار عملية الثقب بعد استبدال البنط. مثل هذا المرور المتكرر يتطلب إعداد إضافي للماكينة وزيادة التكلفة. بعض صناع الواح الدوائر المطبوعة يجهزون ماكيناتهم ببنط مختلفة الاقطار على بعض الرؤوس، لكي يتم ثقب كل الثقوب بدون الحاجة لتبديل أى من البنط. على أية حال، هذا يعمل على تقليل انتاجية الماكينة. هناك ماكينات مزودة بوسائل التبديل الذاتي متاحة ولكنها غالية. إذا كانت أكوام ألواح التشغيل panel stacks غير محملة وتم إعادة تحميلها في ماكينة التثقيب، فإن كل واحدة يجب أن يوضع عليها علامة بسبب أنها يجب أن يعاد تحميلها تحت نفس رأس الماكينة.

مصممي ألواح الدوائر المطبوعة يجب أن يأخذوا عظيم عنايتهم لتجنب استخدام المزيد من أقطار الثقبوب العديدة على الالواح المثقبة. بعض الثقوب يمكن تخريمها خلال لوح الدائرة المطبوعة الخام بدون تكلفة فائقة، ولكن يجب أن تكون بقطر على الاقل ١،٥ ملليمتر (٠،٠٦ من البوصة). هذه الثقوب سوف لا تطلى على ألواح الدوائر المطبوعة بالرغم من أنها من الممكن احاطتها بوسادة على كل جانب وتوصيل الوسادتين بواسطة ثقوب أصغر، التي تم ثقبها قبل التصفيح معاً مع ثقوب أخرى.

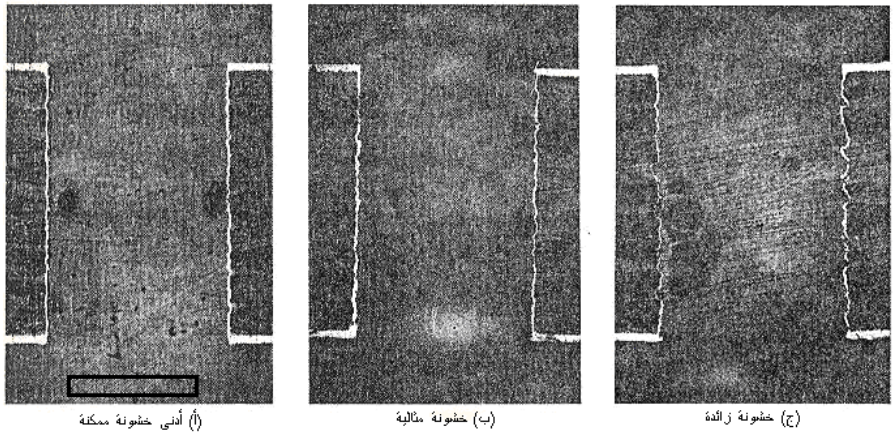
من الخطأ فرض أن الثقوب المطلوب طلائها يجب أن يكون لها حوائط ناعمة. الدرجة المحكومة للخشونة، شكل رقم (٦-٢٤) تكون مقبولة تماماً وتزيد التماسك لأسطوانة الطلاء مع اللوح المدعوم. عند اجراء عملية الثقب على الألواح المدعومة بالزجاج، نحتاج إلى الرعاية والعناية لتأكيد أن الالياف الزجاجية تم قطعها ولم تتمزق شكل رقم (٦-٢٥) وذلك بسبب:

١-المساحة حول الالياف الممزقة أساسها رديئ جدا للتصفيح، كما انها راتنج متفحم.

٢-بروز الالياف الزجاجية في الثقب يمكن طلائها ولكن تعمل على تقليل قطر الثقب المفيد.

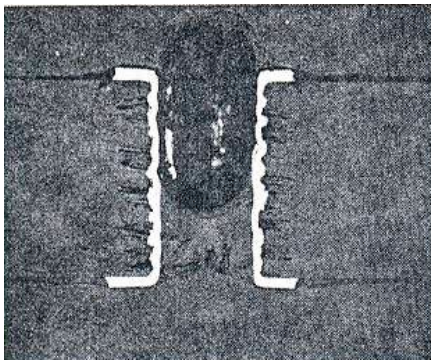
٣-إذا كانت عملية ثقب الثقب رديئة، فإن حواف الثقب تكون غالباً غير منتظمة والتخويش غير كافٍ.

قطر الفتحة المثقبة يكون أصغر من قطر البنطة المستخدمة. الفرق يمكن تقديره بحوالي ٥٠ ميكرون (٠،٠٠٢ من البوصة) لأقطار الثقوب لحوالي ٢ ملليمتر (٠،٠٨ من البوصة) وحتى ١٠٠ ميكرون (٠،٠٠٤ من البوصة) للثقوب الاكبر. للألواح ذات الفتحات المطلية الجدران PTH ، يجب أن يؤخذ في الحسبان سمك التصفيح أو الطلاء وقطر البنطة سوف يزيد بذات الكمية.

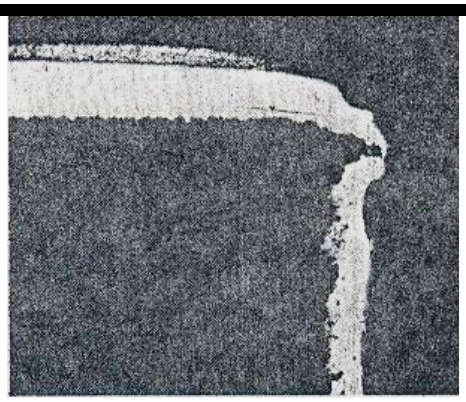


شكل رقم (٦-٢٤) جودة عملية التثقيب: (أ) أدنى خشونة ممكنة، (ب) خشونة مثالية و(ج) خشونة زائدة . يتم تصفيح الثقوب بطريقة النحاس الغير كهربي ليعطي اهتمام بالاسطح. سمك اللوح المدعوم ١٦/١ من البوصة وهو FR-4 .

الفتحة المصفحة أو المطلية plated بقطر يساوي ١ ملليمتر (اسمي) سوف تُثقب ببنطة قطرها ١،١ ملليمتر. إذا كان تفاوت الثقب هو 100 + 0- (أو كما يقال يجب أن يكون قطر الثقب بين 1.000 و 1.100 ملليمتر)، وبالتالي سيكون قطر البنطة ١،١٥٠ ملليمتر مناسباً.



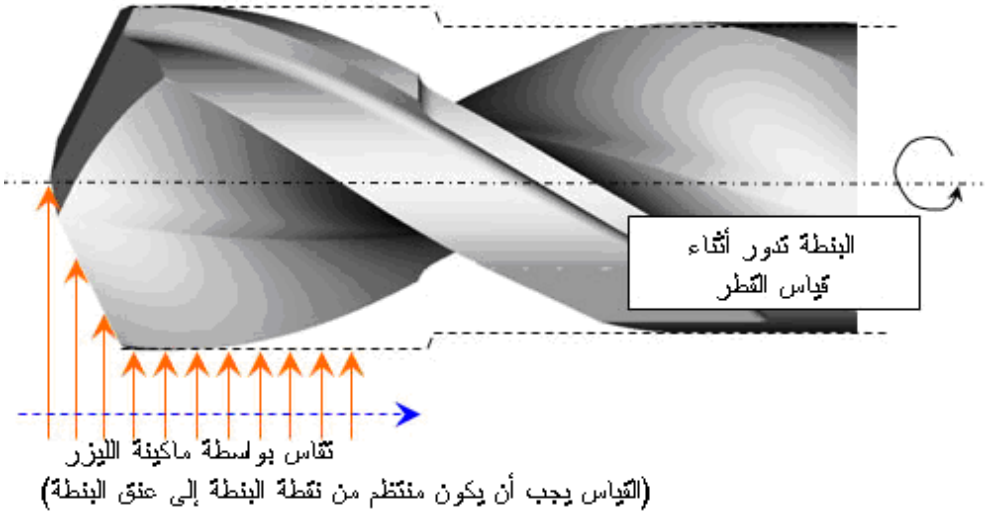
شكل رقم (٦-٢٥) فتحة مثقبة ببنطة كليلة : بدلاً من القطع بنظافة، تتمزق الالياف الزجاجية. ونتيجة لذلك يصبح تصفيح الفتحة غير منتظم.(الشكل البيضاوي الاسود هو فقاعة نتيجة لأحتواء العينة



شكل رقم (٦-٢٦) اللطخة والحواف الخشنة الغير مناسبة لركن الثقب يسبب تعدين رديء في أكثر القطاعات إجهاداً للثقب

٦-٣-٦ عيوب الاستخدام الغير ماهر للبنطة:

تآكل وكسر البنطة Wearing:



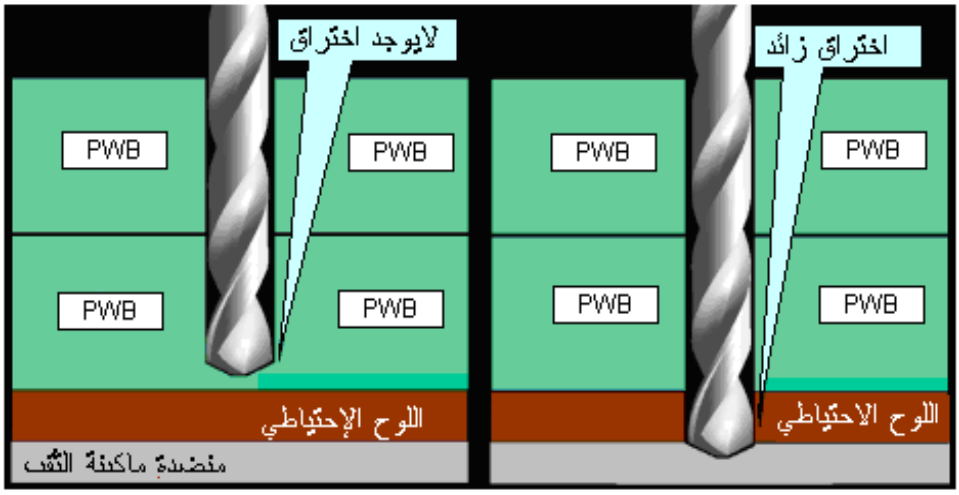
شكل رقم (٦-٢٧) يوضح النصل القاطع في البنطة

طريقة قياس التآكل:

١-النصل المشار إليه بالاسهم هو المطلوب قياسه
٢-يتم تصوير البنطة وهى جديدة
٣-تصوير البنطة بعد ١٠٠٠ hits (تساوي ٠،٢٥ مليمتر وهى وحدة قياس تآكل النصل)
٤-تصوير البنطة بعد ٢٠٠٠ hits
٥-عمل مقارنة بين الصور الثلاث السابقة

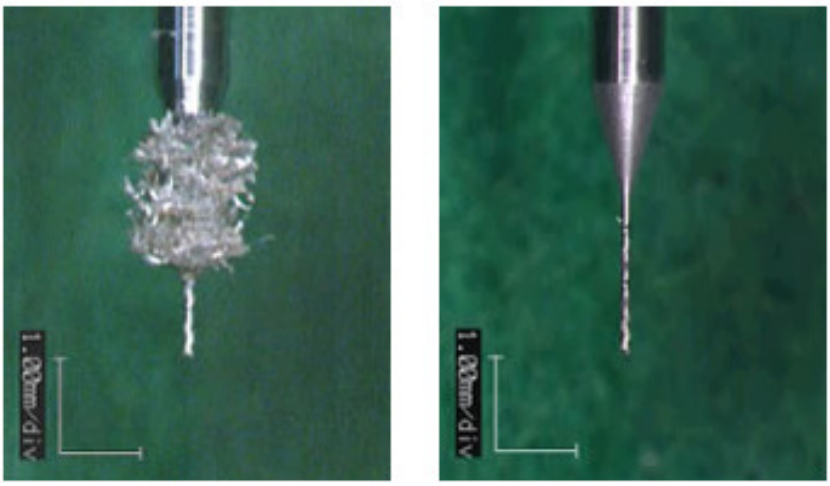
الاختراق الزائد Over piercing:

استخدام مسطرة قياس عمق الفتحة:
بدون اختراق / اختراق زائد
Non piercing / Over piercing



شكل رقم (٦-٢٨) يوضح حالتى الاختراق وعدم الاختراق

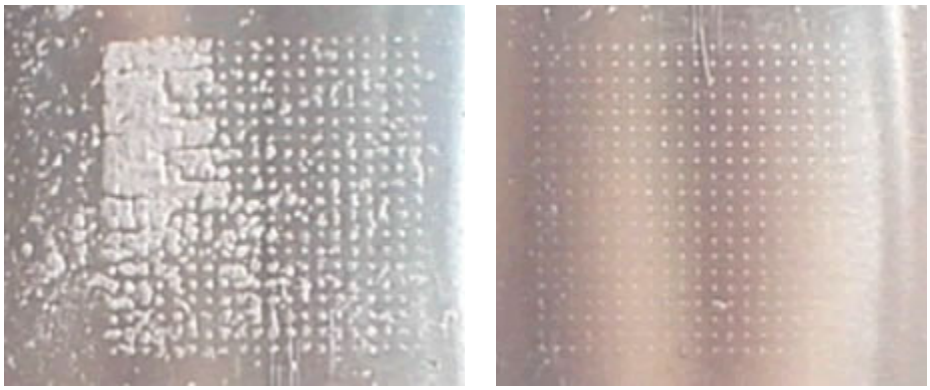
عش الطيور Bird Nesting :



Bird Nesting Non Bird Nesting

شكل رقم (٦-٢٩) يوضح عش الطيور

الانسداد بالبرادة Swarf clogging:



يوجد انسداد نتيجة للبرادة لايوجد انسداد نتيجة للبرادة

Swarf clogging Non swarf clogging

شكل رقم (٦-٣٠) يوضح انسداد الثقوب بالبرادة

٦-٤ التثقيب بأشعة الليزر :

التوصيلات الكهربائية بين طبقاتِ PCB انجزت بشكل تقليدي بتثقيب الفتحاتِ وبعد ذلك يجرى لها عملية طلاء معدني في اللوح. التثقيب الميكانيكي، بواسطة مثاقب محكومة بشكل عددي هى الأداةَ القياسيةَ لهذا العملِ في الممارسةِ الصناعيةِ الحاليةِ. على أية حال، التثقيب الميكانيكي يعتبر الرأسمال الاول والهام في أغلب الأحيان بل وهو عنق الزجاجة لإنتاجِ اللوح. على سبيل المثال، أى لوح تكنولوجيا متقدّمةِ اليوم قَدْ يحتوي على ٣٠-٤٠ ألف فتحة بقيم أقطارِ أسفل ٠.٢ مليمترِ، وماكينة تثقيب وحيدة (ميكانيكية) قَدْ تَنتج فقط ٥ فتحات/ثانية. بشكل خاص، كلما صغر قطر الفتحة الّتي ستثقب، فإن المثقاب سترتفع قيمته نظراً لمتطلبات الدقة المطلوبة. البنط الصغيرة لَها حدّود للاستخدام، لأنه حتى كمية صغيرة من البنط متضررة يُمْكِنُ أَنْ تؤدّي إلى عدمِ الإستقرار وكسرها. ومن الواضحُ ان عمليةُ التثقيب الميكانيكيةِ في أغلب الأحيان هى العاملُ المُحدّدُ لطاقة انتاج اللوح.

في السَنَوات الأخيرة، لوحظت القوة الكامنة العظيمة لمصادر الليزرَ حيث أصبحت أداة لثقب الفتحاتِ الصغيرةِ بالسرعةِ العاليةِ على لوح الدائرة المطبوعة. حتى عملياً، يَكْشفُ العديد مِنْ الفوائدِ عن عملية التثقيب التقليديِ للفتحاتِ الصغيرةِ على PCB المنجزة ميكانيكياً، حيث تعاني مِنْ السرعةِ المنخفضةِ وكثافة العمل. هناك عِدّة محاولات قربت بين السرعة والدقة في عملية التثقيب بالليزر على ألواح الدوائر المطبوعة. وَصفَ جهاز يَتضمّنُ رأس مثقابَ يَتوجّهُ إلى فتحة الدليل على ورقِ النحاسيِ الرقيق الأعلى حيث يعبره شعاع الليزرِ خلال طبقةِ الراتنجِ الوسطية وورقِ النحاس الرقيق الموجود في اسفل طبقة للوح المتعدّدِ الطبقات.

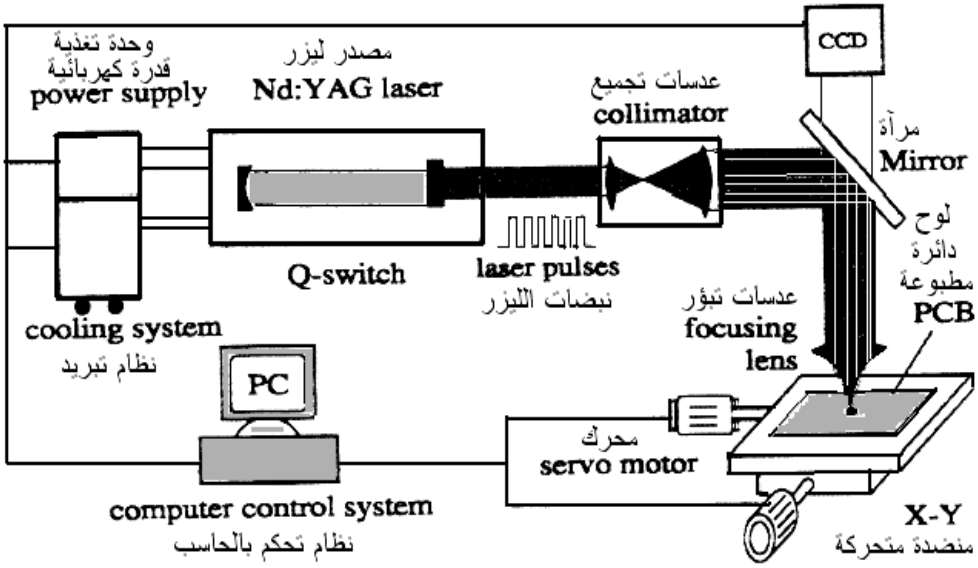
وقد تم التوصل إلى طريقة لتنفيذ فتحة بشكلِ غير مخروطيٍ على PCBs بإستعمال شعاعين لليزرِ (بنبض وطول موجي مختلفان) وضبط موقعَ عدسةِ البؤرةَ. ومؤخراً توصلت بعض الشركات إلى استعمال ليزرِ لثقب نقاط العبور المستورة بسرعة عالية. هنا نَذْكرُ تكنولوجيا مبتكرة للتثقيب بالليزرِ لسرعةِ عاليةِ ولعمل فتحةِ دقيقة على لوح الدائرة المطبوعة. يَستخدمُ نوع الليزر

Q-switched solid state (YAG)

الذي به تصبح سلسلة نبضِات الليزرِ مطلوبة لإنجاز عملية التثقيب للفتحات الخلالية والمستورة، ونظام حاسب صناعي للتحكم في كل من عوامل نبضات الليزر وحركة المنضدة في الاتجاهات -x Y . الفائدة من طول الموجة الأقصر (المقَارنَ ب١٠.٦ ميكرومتر لليزرِ CO2) مِنْ شعاعِ YAG وتكنولوجيا:

Acousto-Optic Q-switched،

هو أن تركيبَ التثقيب بمصدر الليزرِ ذو الحالة الصلبة المشغل بنظام CNC يعطي ميزّات أكثر جاذبيةً للصناعةِ، مثل سرعةِ تشكيل فتحات نقاط العبور vias الأعلى، والأسهل في السَيْطَرَة والصيانةِ، والتكلفةً الأقل للأجهزةِ.



شكل رقم (٦-٣١) يوضح جهاز التثقيب CNC بشعاع الليزر

الشكل رقم (٦-٣١) يمثل رسم تخطيطي لنظام تثقيب بالليزر المحكوم بحاسب على PCBs. مصدر الليزر Nd:YAG يستخدم لبث شعاع ليزر بطول موجي ٦ .١ ميكرون ، وخرج مستمر تم تحويله إلى نمط نابض بإسْتِخْدام A-O Q-switch ضمن تجويف الليزرِ. مَع تجويف مُصَمَّم بشكل خاصّ فإن نظامَ الليزرَ يولد نبضاتَ نوعيةِ لشعاعِ جيد بعرضِ أقل من ٠.٥ ميكروثانية وقدرة

ذروة قصوى أكثر من ١٠ كيلووات بمعدل تكرار ذو تردد ١٠ كيلوهيرتز. يتم إثارة قضيبَ الليزرَ بواسطة مصباحي تفريغ في نفس الوقت بتغذية كهربائية مقدارها ٦ كيلووات. هناك مرحلتين لتدوير مياه التبريد (التوزيع أو التدوير الداخلي يَستخدمُ المياه الغير مؤينة deionization لإزالة الحرارةِ الزائدة والمدفوعة بواسطة وحدة الارسال البصرية الناتجة من نبضات الليزر على سطحِ قطعة التشغيل workpieces، الوحدة لَها X5 beam expander لتَخفيض إنحرافِ الشعاعَ وبعد ذلك حجمِ البقعةِ البؤريةِ. التركيب مع تحكم نمطِ الليزرِ المستعرضِ وتبؤر الشعاع البصري، فإن قطر فتحةِ التثقيب يُمْكِنُ يكون مُحدَّداً مسبقاً. الغاز المضاف المقَذوفَ خلال الفوهة بشكل معين يُمْكِنُه أَنْ يَحْمي البصرياتَ مِنْ التلوّثِ ويحسّنُ أيضاً من سرعةَ التشغيل ونوعيةَ الفتحاتِ. تستخدم آلة تصوير لمُرَاقَبَة الإنجازِ لعمليةِ التثقيب، والصورة يُمْكِنُ أَنْ تُعْرَضَ على شاشة الحاسب. بدلاً مِنْ إدارة وحدة تبؤر شعاعَ الليزرَ لتَثبيت موقعِ تثقيب الفتحةِ، منضدة X-Y سَيكونُ لديها محرّكاتُ servo مسيطر عليها الحاسب كمصدر مؤثّر يعطي مواقع فتحةِ سريع ودقيق. كُلّ التحكمات تتضمن بارامتراتِ نبضِ الليزرِ، معلومات حفر اللوح، ومواقع الفتحات تكون قابلة للبرمجة ومُدرَكة مَع فقط أحد الحاسبات الصناعية.

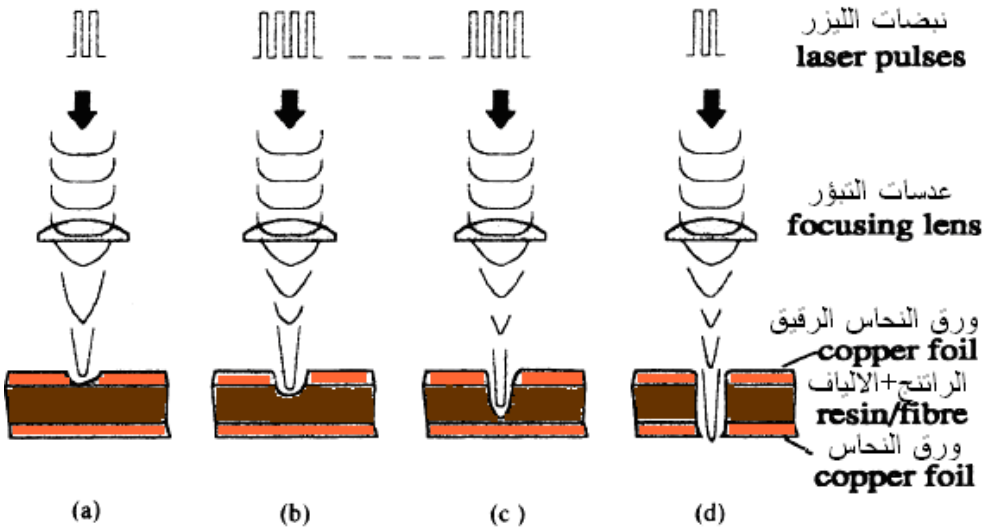
مثل قطع ولحام الليزرِ، نجد أيضاً أن التَثقيب بالليزرِ خلال مادّةِ واحدة لَه تاريخ صناعي طويل من الاستخدام. على أية حال، التثقيب على لوح الدائرة المطبوعة المتكون من بِضْع طبقاتِ ماديةِ يعتبر شغلة مختلفة. على كلا الجانبينِ للوح الدائرة المطبوعة أوراقَ نحاسيةَ رقيقة، سُمك الطبقة المعدنِية يتفاوتُ مِنْ ٣٥ ميكرون إلى ٧٠ ميكرون. وفيما بينهما طبقةُ الراتنجِ المَعْزُولةِ بحزمِ الالياف الزجاجيةِ لتَحسين القوة والدعم. لذا فإن التثقيب للفتحات الخلالية أَو المستورة لنقاط العبور vias على PCB هى معالجة معقّدة: الكميات المزالة من الطبقات النحاسية، وطبقات الراتنج وطبقات الالياف الزجاجيةِ لَيستْ متساويةَ بسبب العواملِ المُخْتَلِفةِ مثل سعة امتصاص الطاقةِ، معامل الإمتصاص وكثافة الطاقةِ وirradiation time، .. الخ

العملية قَدْ تُقسّمُ تقريباً إلى ثلاث خطواتِ، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٦-٣٢) أولاً، سلسلة نبضاتَ الليزر تبؤر وتشع على السطح الاعلى للوح PCB، المنطقة المتأثّرةِ الأمامية لورق النحاس الرقيق الأمامي يتم إزالتها بالتَبخير نتيجة لكثفة الطاقة العالية لنبضات الليزر، وبعد ذلك تتكون الفتحة الدليلية، كما في الشكل رقمِ(٦-٣٢a). بعد إختِراق الطبقةِ المعدنيةِ العليا، فإن المجموعة

الثانية لنبضات الليزر تُواصلُ إشعاعها وتَجْعلُ الفتحة في جزءِ خَلِيْطَ الراتنج بالألياف الزجاجيةِ. هذا هى معالجة التثقيب الرئيسيةِ لليزر على PCBs، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٦-٣٢b و c).

أخيراً، كرّرَ كالخطوة الأولى نفس الفتحة يُمكنُ أَنْ تتَكُونَ على طبقة ورق النحاس الرقيق السفلية للوح PCB بالمجموعةِ الثالثةِ لنبضات الليزر إعتِماداً على أى من الفتحة الخلالية مطلوب، كما في الرقمِ (٦-٣٢ d). النوعيةَ وسرعةَ الليزر للتَثقيب مُحدَّد ببارامترِ النبضَات مثل الطاقةِ، والعرض والتردد والمجموعة،.. الخ. ، إمكانية الإرْسال البصري والتبؤر، والقدرة على التحرك الميكانيكي بنظام CNC.

الشكل رقم (٦-٣٣) يوضح فتحة دقيقة تم ثقبها بقطر مقداره ٠،٠٢ مليمتر بواسطة شعاع الليزر.

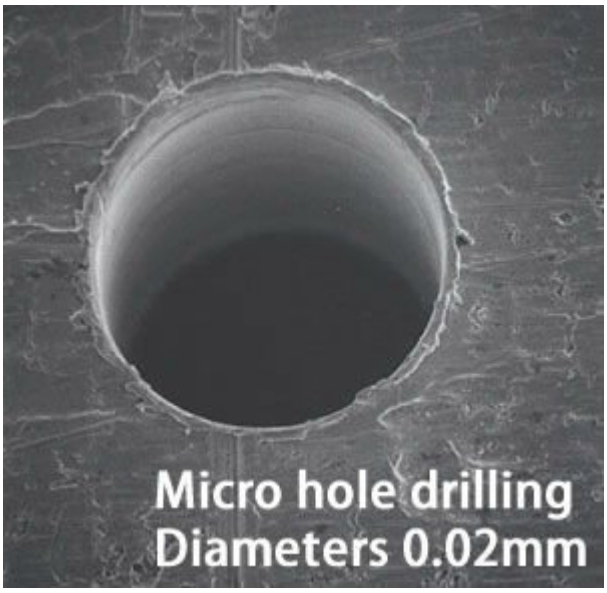


شكل رقم (٦-٣٢) يوضح عملية التثقيب بشعاع الليزر على لوح الدائرة المطبوعة:

(a) ثقب فتحة الدليل على طبقة النحاس الامامية

(b) و(c) ثقب الفتحة خلال الراتنج والالياف

(d) ثقب الفتحة على طبقة النحاس الخلفية



شكل رقم (٦-٣٣) يوضح ثقب دقيق

٦-٥ عمليتى الحز المحفور وتوجيه العروة
Grove Score and Tab Routing

بينما أصبحت عمليات تنسيب عناصر اللوح المطبوع PCB كثيفةً، كان من الضروريُ استخدام الواح تشغيل panels تحتوي عدد من ألواح الدوائر المطبوعة المنفصلة. ويستخدم قضبان حافة لوح التشغيل لحملها ونقلها خلال خط الانتاج (قضبان حافةِ edge rails) لتنفيذ عمليةِ التجميع.

ويجدر بالذكر أن ألواح الدائرة المطبوعة PCB أو ألواح التشغيل تحتاج حافتين متوازيتين يعملان على تسهيل علاجها خلال خَطٍّ انتاج عناصر التثبيت السطحي SMT. وهذا يعمل على مْنعَ الإنحِراف خلال النظامِ الناقلَ. أيضاً، كُلّ الواح الدوائر المطبوعة PCB الغير منتظمة الشَكَّل يَجِبُ أَنْ يكونَ لديها قضبانُ حافةِ edge rails مركبة لتَلْبِية هذا المتطلبِ. التوجيه الشريطي الإنفصالي يبْقى سليم طول عمليةِ التجميع ويتم ازالته في المرحلةِ النهائيةِ.

الحز المحفور على شكل حرف V والمسمى بالانجليزية V-Grove Score وتحديد المسار ذو العروة والمسمى بالانجليزية Tab Routing هما طريقتان شائعتان مستخدمتان لخلق حد للفصل

بين ألواح الدوائر المطبوعة في لوح التشغيل. تحديد المسار ذو العروة يستخدم مناطق عروات فصل (أحياناً مدعوَّة باسم " عضات فأرِ Mouse Bites ").

٦-٥-١ عملية توجيه العروة Tab Routing

يَعتمدُ مصنعوا ألواح الدوائر المطبوعة الحاليين أساساً على التوجيه routing لإداء عملياتِ القطع. ومن المعروف أن قوالب التفريغ blanking dies تعطي تكلفة عالية ووقت إنتظار ممتد، وتندمجَ مع مشكلةِ التصميمِ الغير مرنة لأدوات tooling التشغيل الصعبة، وتحدّ من عمليةَ التخريم عموماً للأحجام العاليةِ جداً أَو تصميمات معيّنة لتطبيقاتِ القالب أو الكفة die applications . وتحدد عمليات القَصّ أَو النشر للأشكالِ المستطيلةِ وعموماً لَيستْ دقيقةَ بما فيه الكفاية لأغلب تطبيقاتِ اللوح.

في صناعةِ البطاقة الإلكترونيةِ الحديثةِ، نجد أن الاستجابة السريعة لإنتظار الزبونِ وإقتصاديات تطبيقِ العملية قد نجحت بواسطة التوجيه، خصوصاً التوجيه المحكوم عددياً بالحاسب (CNC) للرؤوس المتعددة.

يتكون التوجيه من عمليتين مماثِلتين، علاوة على ذلك عمليات صناعية مختلفة:

١. نظم محكومة عددياً بالحاسب CNC ذات التوجيه لرؤوس متعددة

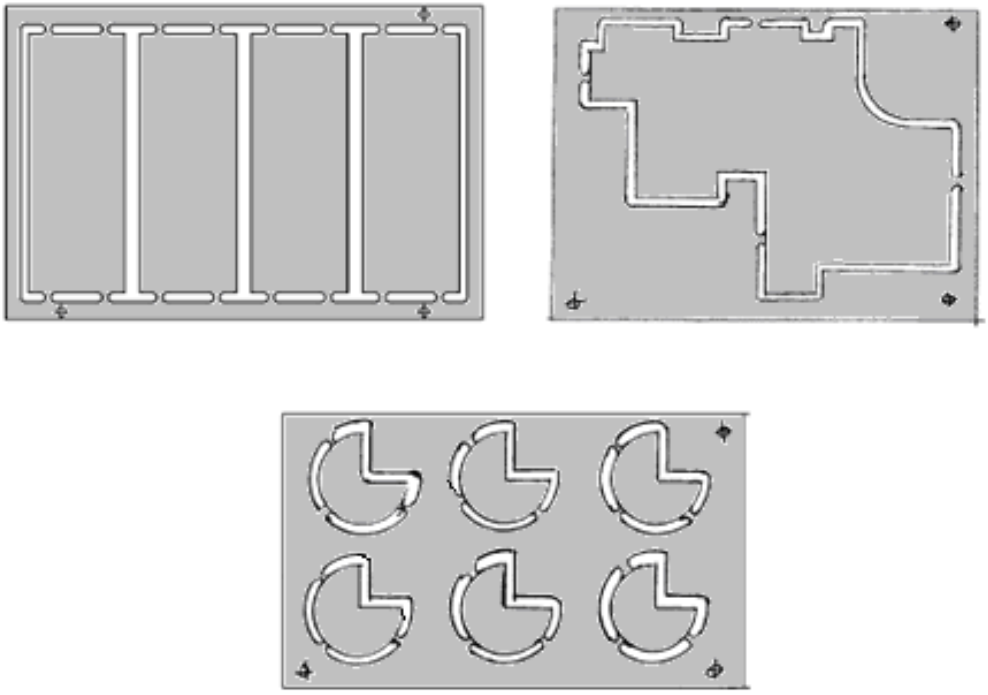
٢. التوجيه الدبّوسِي اليدوي

التشابهات تَشْملُ إستعمالِ الرؤوس السريعةِ، واستعمال أدواتَ القطع الكربيدِية، وتَوليد معدلات عالية للقطع.

٦-٥-٢ تطبيقات التوجيه لنظام CNC:

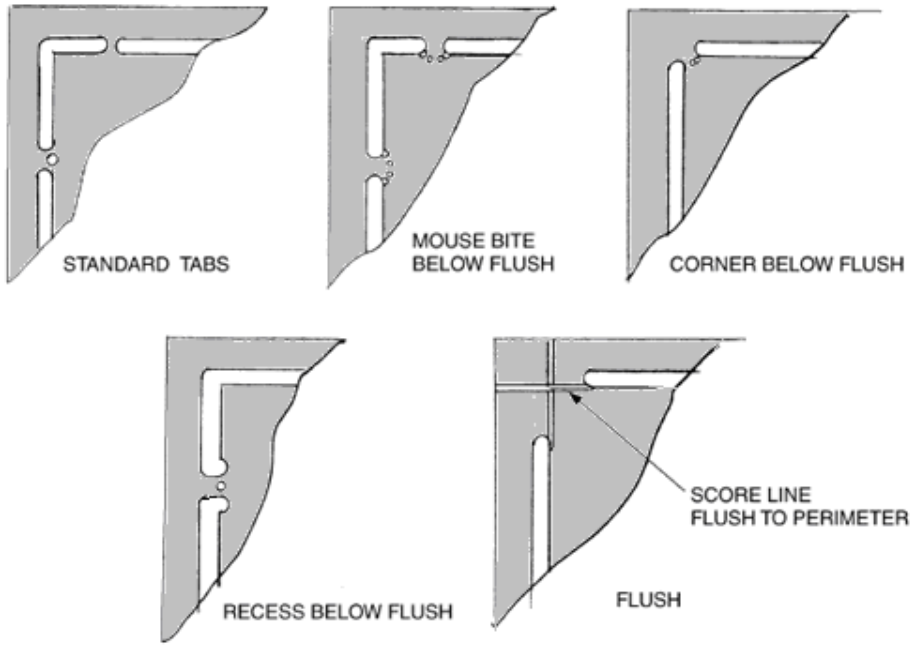
امتدت تطبيقاتُ التوجيه المحكومة عددياً NC إلى ما بعد مظاهر قطع اللوح. فإن قدرة إنْتاج الألواحِ في صورة وحداتِ متعدّدةِ تُخفّضُ المعالجة، لَيسَ فقط في الورش الصغيرة، لكن أيضاً في كُلّ عملية لاحقة مِنْ التغليف، وتجميع العناصر، واللحام الموجي، والإختبار. هذه هى القيمةِ الخاصّةِ عندما نتعاملُ مع جزء في حجمِ طابع بريدي أَو سلك مسطح قابل للربط bondable مع أسطح أخرى مكررة. بالإضافة إلى، الأشكال الغير عادية أَو الغير منتظمة، الصغيرة منها أَو الكبيرة، حيث يُمْكِنُ

أَنْ تثْقَلَ لتَبْسيط المعالجة والحمل. في الشكل رقم (٨-٣٤)، أمثلة لألواح تشغيل مقسمة بتوجيه العروات، أَو ذات الصور (الألواح المطبوعة) المتعدّدة.



شكل رقم (٦-٣٤) يوضح أمثلة توجيه العروة

في الشكل رقم (٦-٣٥)، كُلّ جزء مرَتبطَ بالإطارِ من خلال عروات قابلة للكسرِ breakable أَو قابلة للفصلِ removable ويُمْكِنُ أَنْ يَتضمّنَ ميزّاتَ تَسْمحُ لإزالةِ العروة اسفل حافةِ اللوح لمحيطِ الصورةَ. لاحظ في الشكل رقم (٦-٣٥) إستعمال خَطّ التحزيز لتَسهيل إزالةِ العروة. التحزيز، لوحده أَو بالمشاركة مَع التوجيه، يُمْكِنُ أَنْ يَلْعبَ دور كبير في اللوح وفصل المفرشَ pallet separation أو لوح التشغيل. يضاف ثقوب دقيقة على الحافة الداخلية للعروات والمعروفة بمنطقة الكسر أو الفصل وهى مرصوصة (الثقوب) في خط مستقيم أو على محيط قوس (قضمة الفأر) لتسهيل عملية فض أو فصل اللوح المطبوع عن لوح التشغيل. في بعض إلواح التشغيل قد تترك هذه المنطقة بدون ثقوب ويطلق عليها منطقة الكسر المصممته.



شكل رقم (٦-٣٥) كل جزء موضح مربوط للإطار بعروات قابلة للكسر أو الإزالة. ويوضح العديد من خيارات العروات القابلة للكسر. وتوضح أيضاً إضافة خط تحزيز مع العروات للتسهيل.

٦-٥-٣ التشغيل المحكوم عددياً بالحاسب

Computer Numerical Controlled (CNC) Operation:

ماكينات التوجيه المحكومة عددياً بالحاسب CNC لَها القدرةُ على مُعَالَجَة الأحجام الكبيرة مِنْ البطاقات الإلكترونيةِ بدقّة عالية وبشكل إقتصادي، رغم انَّها مقتَرنة بميزّاتَ الماكينة لتَمْكين البرنامجِ والإعدادِ السريعِ. هذا الاقتران يمكن نفس المعالجة المستعملة للحجمِ العاليِ الّذي سَيُستَعملُ للنماذجِ الاولية وإنتاجية الوقتِ القصيرِ.

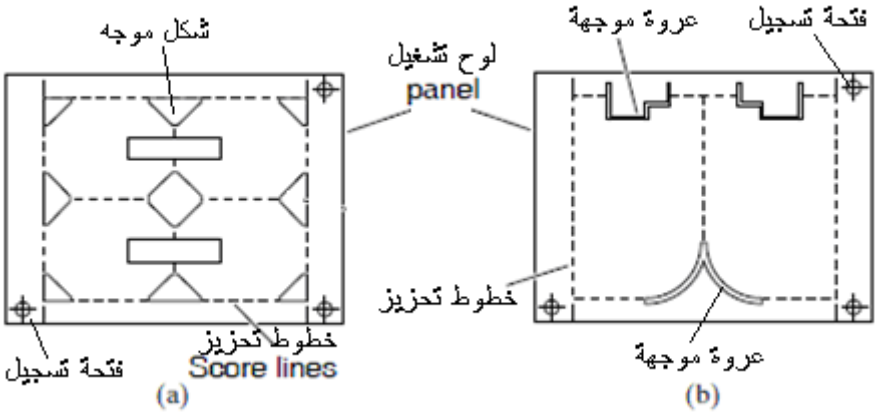
مع ملفات بياناتِ البطاقة الإلكترونيةِ المتوفرةَ عالمياً، فإن وقت برمجة الجزءِ لَهُ إنخفضْ إلى بضع دقائق، مقابل الساعات المأخوذة في التو، بينما تظل الإعدادات عند حوالي من ١٥ إلى ٢٠ دقيقةِ.

تشغيل التوجيه يشْملُ رؤوس متعدّدةِ (من ٢ إلى ٥)، قادرة على التشغيل بسرعات مِنْ ٦,٠٠٠ إلى ٣٦,٠٠٠ دورة/الدقيقة، أَو أكثر. طريق الموجه (حركة المنضدة في المحاور x و y وهبوطِ الرأس وسحبها) مُحدَّد بالبرنامجِ. وهذا يَسْمحُ لأيّ عدد من الطرقِ وأيّ موقع للتنفيذ.

الطريقة المفضّلة لتسجيلِ لوح التشغيل إلى منضدةِ الماكينةَ هو استعمال لوح التشغيل بالكامل وفتحاتُ مشكلة بالقطع tooling سابقاً. الفتحات المشكلة بالقطع Tooling داخلياً إلى الجزءِ الذي يُعطي دقة أعلى، بالرغم من أن تصنيع tooling لوح التشغيل قَدْ يُستَعملُ إذا كان قد أخذ في الاعتبار في وقت سابق في العمليةِ.

٦-٥-٤ عملية التحزيز المحفور Grove Score

عملية التحزيز Scoring هى أحدى طرق صناعةِ ألواح التشغيل وذلك بعمل قطع غير مكتمل طويل ومستقيم، ولذا في أغلب الأحيان تستَعملُ لإعطاء اللوح الشكل المستطيل.وبشكل أعم، على أية حال، تكون مستعملة بالتناغم مع التشكيل بالتحكم العددي من خلال الحاسب بوظيفة التوجيه CNC routing للأشكالِ المعقّدةِ، بالتمكين لكل أداة لاستخدام فائدتها الوحيدة. عندما تستعملَ وظيفة التوجيه، فإن عملية التحزيز تطبق باتساع أكبر وتعطي انفصال سهل لأشكال معقدة الشكل رقم (٦-٣٦).



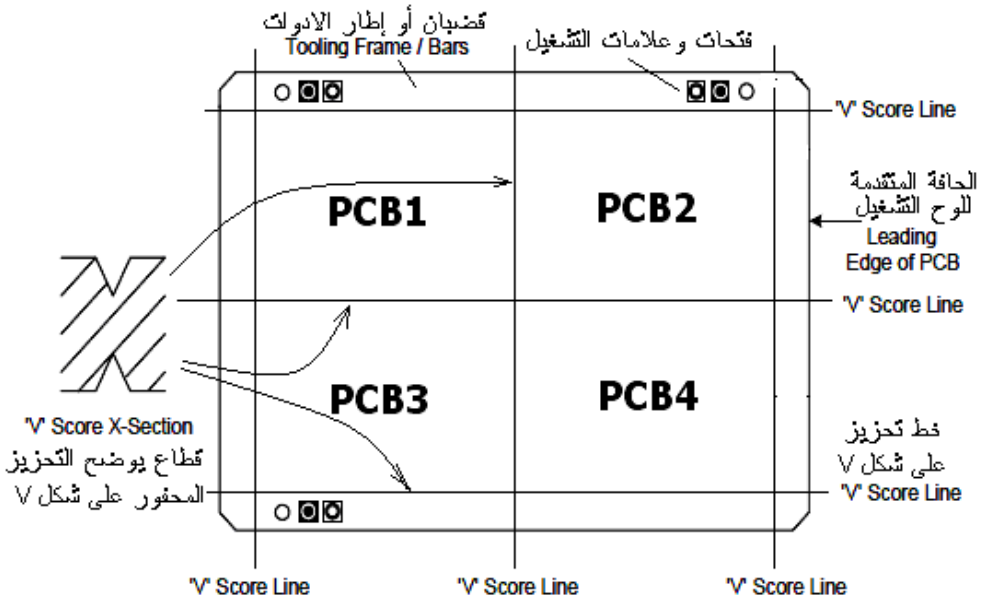
شكل رقم (٦-٣٦) يوضح عملية التحزيز: (a) يوضح لوح تشغيل بخطوط تحزيز نموذجية واركان موجهة، (b) يوضح خطوط تحزيز وملامح معقدة وموجهة.

٦-٥-٥ تطبيقِ التحزيز Scoring Application:

يتم انجاز التحزيز بواسطة ميكنة الحفر إلى عمق على شكل حرف V، على سطح القمةِ والقاعِ للوح المدعوم، عموماً بإستعمالِ ماكينات CNC. هناك عنصرين مهمين لخَطِّ التحزيز score line هى كالتّالي:

١. الدقة الموقعية مِنْ علامة المرجعية (عادة فتحة التسجيلَ)

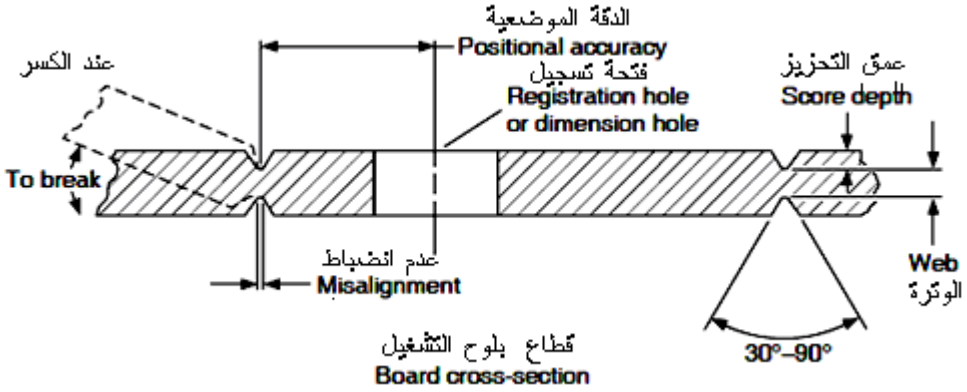
٢. عمق التحزيز، الذي يحدد سُمكَ الوترة ، راجع الشكل رقم (٦-٣٧)



شكل رقم (٦-٣٧) يوضح كيفية تحزيز لوح التشغيل لأربعة ألواح دوائر مطبوعة

الحواف النهائيةَ للوح الدائرة المُحززة المأخوذ بعد الكسر أو الفصل من لوح التشغيل، أَو الحدود، عند خَطّ التحزيز، زاوية أداةِ القطع تكون منعكسةُ في هندسة الحز المحفور، وتحدّدُ هذه الزاويةِ من ٣٠ إلى ٩٠° حيث ستعمل على تقليل اقتحام خط التحزيز إلى المسارات النحاسية القريبة من الحواف للوح الدائرة. يكشف خَطُّ التحزيز عن اللوح المدعوم بالالياف الزجاجية والراتنج. سَتَتفاوتُ كثيراً مقاييس هذه الاسطح، بالرغم من أنَّ خَطّ التحزيز يتم تنفيذه بميكنة دقيقة، شكل رقم (٦-٣٨). هذه

الاسطح الغير منتظمة سَوف تُلاحظُ كنمو بعدي يجب أنْ تؤخذ في الإعتبار عند التصميمِ أَو التخطيط.



شكل رقم (٦–٣٨) مقطع للوح، موضحاً تحزيز محفور على شكل حرف V وطريقة كسره

إنّ الدقةَ البعديةَ للوح النهائي مُحدَّدةُ بدرجةِ الدقّةِ التي بها يتم تأدية ما يلي:

١. عدم الانضباط Misalignment في مدى ±٠.٠٠٣ بوصة لخط التحزيز مِنْ الموقعِ المطلوبِ،

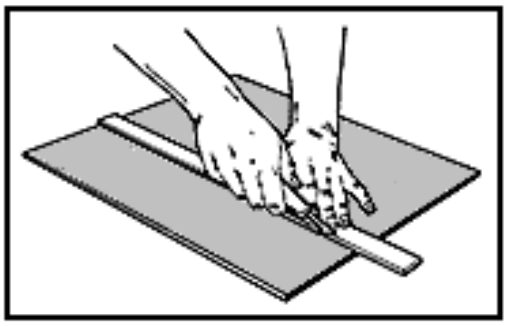
٢. سُمك الوترة في مدى ±٠.٠٠٦ بوصة للبُعدِ المسمي بالشكل النموذجي، سُمك الوترة الإسمي هو ٠.٠٢٠ بوصة للألواحِ FR-4 السميكة ذات السمك ٠.٠٦٠ بوصة و ٠.٠١٤ بوصة للألواح المدعومة FR-4. بينما للمواد CEM-1 و CEM-3 يصبح سمك الوترة الإسمية الصالحة للتطبيق هو ٠.٠٤٠ بوصة و ٠.٠٢٤ بوصة ، على التوالي. تُمكّنُ قِيَمِ سُمكِ الوترة هذه وحدةً كافيةً القوّة لتَفادي إفتراقِ التحزيز العرضي أَو غير الناضجِ، بينما تعطي جهد كسر سهل بدون حافةِ خشنة مفرطةِ roughness.

٦-٥-٦ التشغيل

ثلاثة أنواع رئيسية مِنْ نظم تحزيز لوح التشغيل متوفرة وهى:

٦-٥-٦-١ التخديش Scribing:

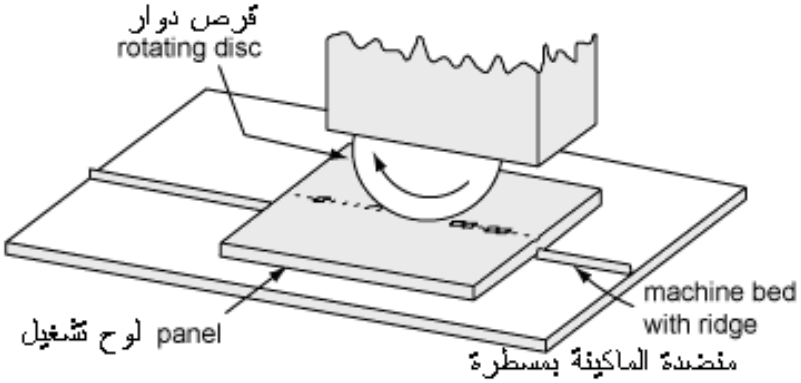
لتحقيق التحزيز يدوياً يمكن استخدام مخداش أو شوكة حادة لتنفيذ عدد من مرات تحزيز مكررة في نفس المسار للحصول على حفر عمقه لا يقل عن ثلث سمك اللوح لتحقيق كسره على حافة المنضدة بتوازي طول خندق المحزوز والمحفور. الشكل رقم (٦-٣٩) يوضح هذا المعني.



شكل رقم (٦-٣٩) يوضح طريقة التحزيز بتخديش سمك اللوح

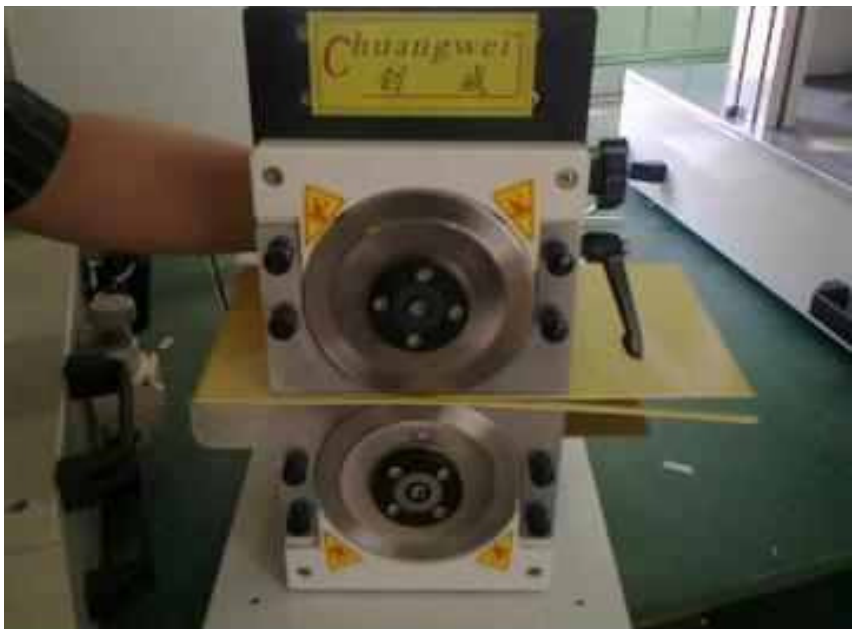
٦-٥-٦-٢ ماكينات بقواطع قرصية للتحزيز:

وهى عبارة عن ماكينات بقواطع قرصية للتحزيز من النوع CNC تَستعملُ أنصال كربيدَ سريعَ أَو قاطعَ مُضَمَّنَ الماسَ diamond-embedded cutter، النصلان يشتغلان معاً كزوج واحد على كُلّ جانب للوح. هذا يُولّدُ أخدود على كُلّ جانب بشكل آني، عند استخدام التحزيز على شكل v، فإن التحزيز على الجانب السفلي واقعُ على حافة سريرِ الماكينةَ، والقرص الدائر المستَعملُ للكسر خلال التحزيز مِنْ الجانبِ الأعلى. في أكثر الحالاتِ، يدفع اللوح بطول الحافةِ يدوياً حتى يصلْ إلى تماس القرصِ الدائرِ، الذي يَسْحبُ اللوح خلال الماكينةِ. الشكل رقم (٦-٤٠) يوضح هذا الشرح.



شكل رقم (٦-٤٠) يوضح طريقة التحزيز بالأقراص الدائرة

في التكوينات الأخرى لماكينات التحزيز، تستبدل الحافة على الجانب السفلي بقرص ثاني الشكل رقم (٦-٤١). في الحالتين، الحيز الفاصل بين القرصِ والحافةِ أَو القرصِ المعارضِ يعتبر صغيرُ ويساوي تقريبا الوترة، لذا فإن اللوح يقْطَعُ عملياً كَمَا هو الحَال مَعَ المقص.

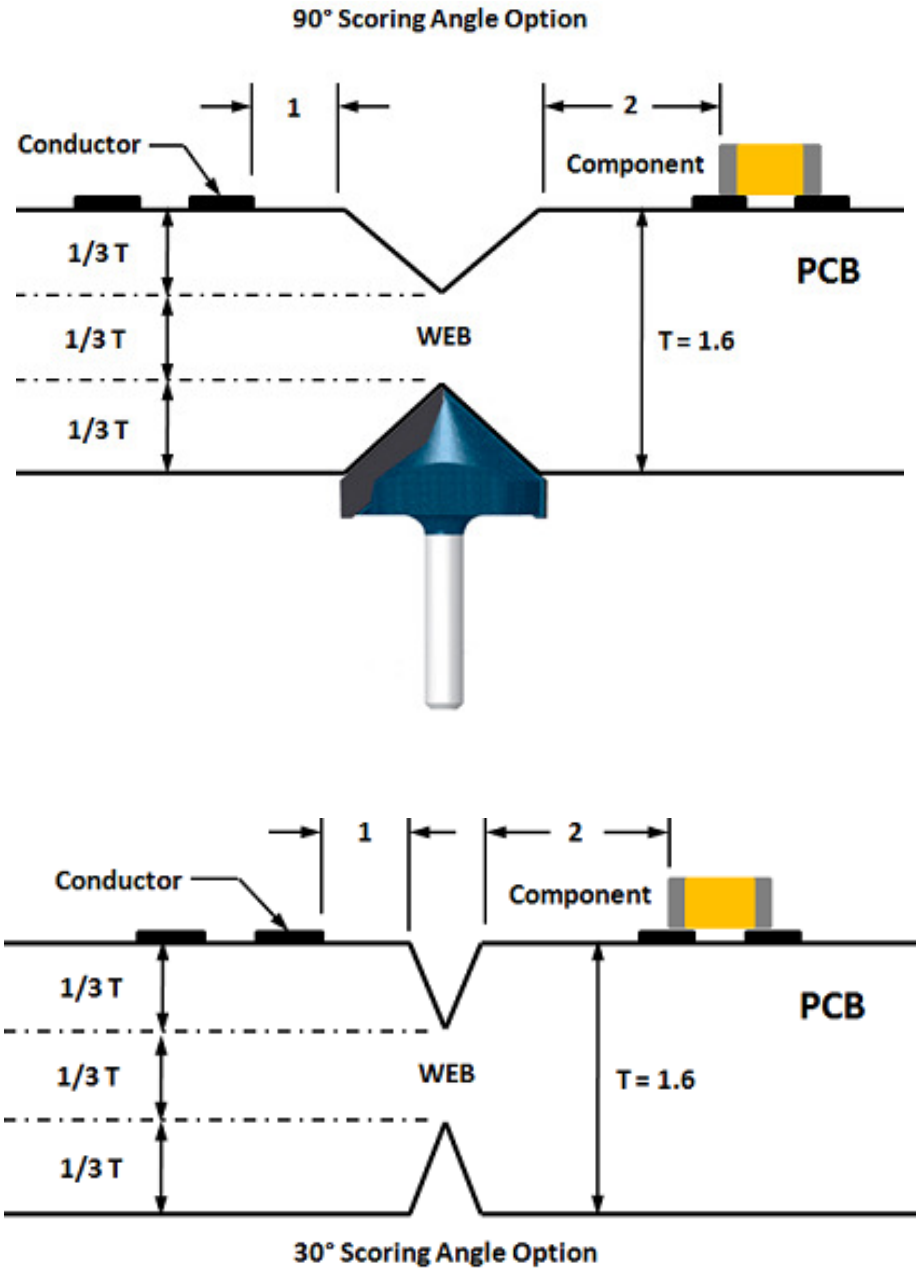


شكل رقم (٦-٤١) يوضح طريقة التحزيز بالأقراص الدائرة

٦-٥-٦-٣ ماكينات بقواطع رأسية :

مثاقب/موجهات المساراتَ المُجهّزة ببرامجِ التحزيز scoring software وقطع التجريفِ الكربيدِ، لتَوليد خطوط التحزيز على جانب واحد من لوح التشغيل في وقت واحد (الشكل رقم (٦-٤٢). وإذا طلب التحزيز المقابل والمعاكس للتحزيز الأول يتم قلب لوح التشغيل وإعادة التشغيل مرة أخرى كما

سبق ، أو تشغيل قواطع متقابلة أعلى وأسفل اللوح لتحقق تحزيز على كلا الجانبين بمسافة وترة محددة.



شكل رقم (٦-٤٢) يوضح التحزيز باستخدام القواطع الدائرة

٦-٦ لوح التشغيل للدوائر المطبوعة PCB Panel

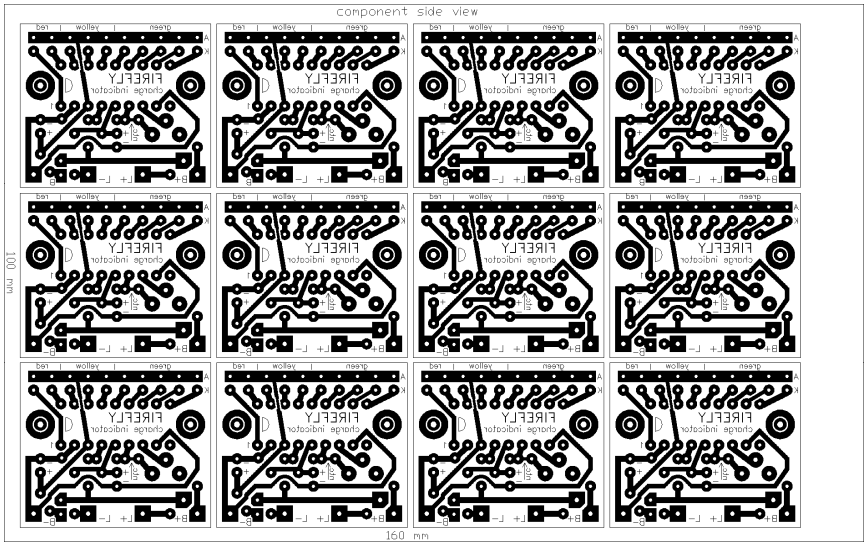
مصفوفة ألواح الدوائر المطبوعة pcb array هى عبارة عن تجميع لألواح دوائر مطبوعة مفردة مكررة عدد من المرات لنفس الدائرة أو لمجموعة دوائر مختلفة لتكوين مصفوفة ألواح أكبر يطلق عليها أيضاً pcb matrix تساعد في عمليات الانتاج.

هذه العمليةِ تعرف أيضاً باسم "خُرُوج على خطوات stepping out " للألواحِ الفرديةِ. وهى في أغلب الأحيان "مدعوة باسم الخطوة والإعادةِ step and repeat " مصطلحات أخرى مستعملة لوَصْف مصفوفة الواح الدوائر المطبوعة مثل: لوح تشغيل panel، و"إخراج على خطوات stepped out" و"لوحة توزيع pallet" و"التوجيه والحفظ rout and retain.

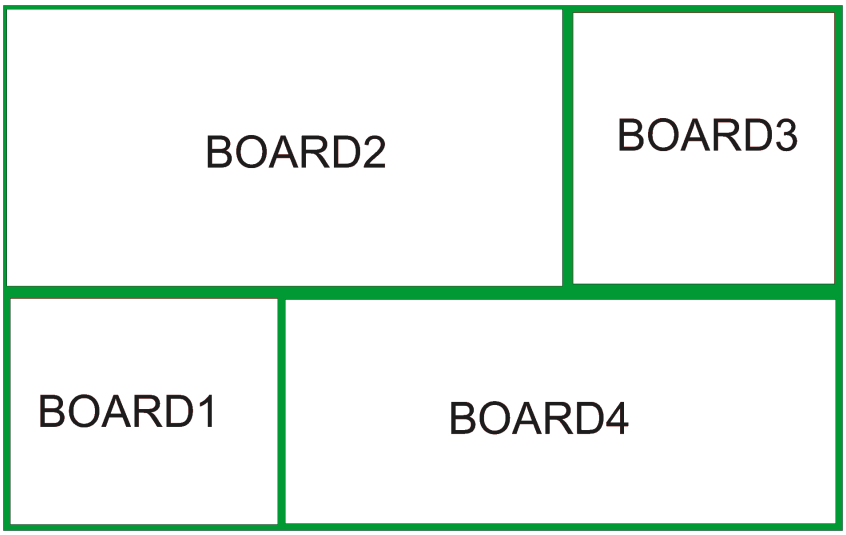
السبب من استخدام مصفوفة الالواح هذه هى المساعدة في عملية التصنيع. فهوَ يعطي الصناع القدرةَ لتَحميل الأجزاءِ بمعدلات أسرع بكثير لتمْكِينهم من تنفيذ عملية صناعية على كل المصفوفة في آن واحد بدلاً من تحميل لوح واحد في كل مرة. يتم تجميع العناصر على الألواحَ بإستعمال ماكينات آلية تعرف باسم ماكينات "الإلتقاط والوضع pick and place ". هذه الماكينات تَلتقطُ العنصر ببساطة من مصدر الماكينة (عادة عناصر التثبيت السطحي) ثم تَضِعُ نفس العنصر أسفل على اللوح عند مواضع متكررة على كل لوح من ألواح المصفوفة أو لوح التشغيل.

تصفيف الألواحِ سَيَرْفعُ تكلفةَ الألواحِ الفرديةِ بشكل نموذجي. هذا يَحْدثُ لأنك سَتَحْصلُ على ألواحِ أقلِ على لوح التشغيل الإنتاجي متى كانت في مصفوفة مقابل معالجتها كما لو كانوا ألواحاً فردية. بالرغم من أنَّ تكلفة اللوح الفردي سَتَرتفعُ، إلا أن تكلفة تجميع الألواحِ تكون أقل بسبب ترتيبِ مصفوفة ألواح الدوائر المطبوعة.

صناعة ألواح التشغيل Panellisation أَو خطوة وإعادة step and repeat كما يُعْرَفُ أيضاً، هو عبارة عن طريقة تجميع ألواح دوائر مطبوعة في لوح واحد من الألواح المدعومة. الصور قَدْ تَكُون إعادة أو تكرار لتصميم أحادي أَو تجميع لتصميمات مُخْتَلِفة. إذا كانت مجموعة من التصميمات المُخْتَلِفةِ مستعملة فإن هذا اللوح يعرف باسم عائلة الألواحِ Family of Boards (FOB. الشكل رقم (٦-٤٣، ٤٤)



شكل رقم (٦-٤٣) يوضح لوح تشغيل لمجموعة دوائر مطبوعة لتصميم واحد



شكل رقم (٦-٤٤) يوضح لوح تشغيل لمجموعة دوائر مطبوعة لتصميمات مختلفة

الشكل رقم (٦-٤٥) يوضح لوح تشغيل وحيد به ٤ دوائرِ مستطيلةِ بميزّاتِ تشغيل tooling مطلوبة. وسَيؤخذ هذا اللوح كَمِثال لوَصْف الميزّاتِ المطلوبةِ.

عددَ الدوائرِ المطلوب رفعها إلى لوح التشغيل مَحْكُومةُ بالعواملِ التاليةِ:

- حجم الدائرةِ الفرديةِ.
- وزن المكوّناتِ الّتي سَتوْضَعُ.
- مقاس لوح التشغيل العامِّ الذي يُمْكِنُ أَنْ يُعالجَ أو تتناوله أجهزةِ التجميع.
- المقاس الأدنى للوح التشغيل.
- الإستعمالَ الأكثر كفاءة لمعيارِ منتجِ PCB للالواح المدعومة للوح التشغيل الاصغر.
- أدنى فصل لنقطة التشغيل .fiducial.
- تَدلّي مكوّناتِ و/أَو مباعدة العناصر مِنْ حافةِ الدائرةِ.

أي لوح تشغيل كبير يحتوي العديد مِنْ الدوائرِ سيكون له قوّةُ ميكانيكيةُ سيّئةُ جداً في أغلب الأحيان، حيث يتطلّبُ الدعم الإضافي لما سيكون له ميل للإنحْناء تحت ظروف وزنِه الخاصِ أثناء التجميع واللحام.

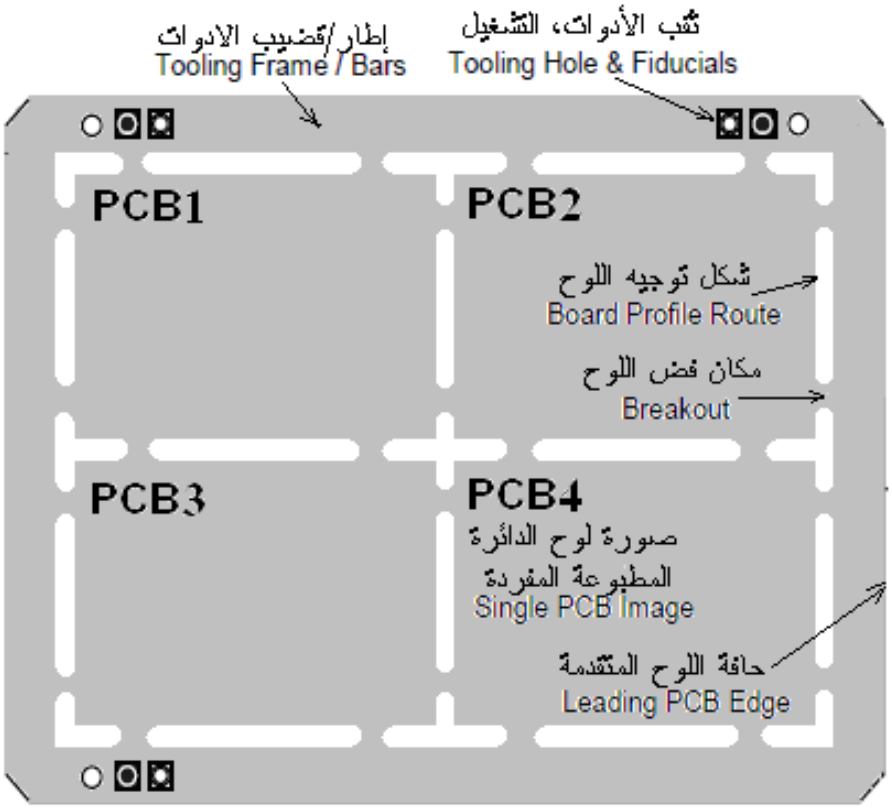
على أية حال، بينما لوح التشغيل الصغير مَع بِضْع ألواحِ قَدْ تَكُون أقوى نسبياً، ولَرُبَّمَا أيضاً غير مناسبة لإسْتِعْمال مقاسات الواح التشغيل الصناعيةِ لمنتجي PCB القياسية. وهى أيضاً سَتزِيدُ كمية الالواح المعالجة أثناء التجميع، وبذلك تزِيدُ التكلفة الإجماليةَ.

وكـ 'طريقة مجرّبة' فإن المقاس الامثل تقريباً للوح التشغيل في المجال التعليمي والصناعي المحدود يساوي مقاس الصفحة A4 أَو ٣٠٠مليمتر × ٢٢٠ مليمتر.

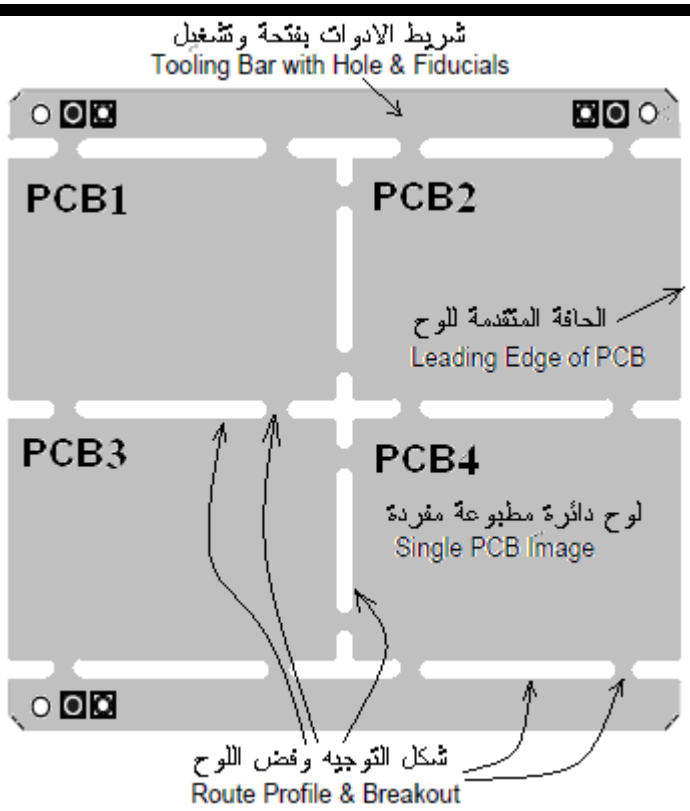
هناك بعض المصطلحات الشائعة الاستخدام في هذا الموضوع:

القضبان Rails :

ويطلق عليه أيضاً شريط أو قضيب أو إطار الادوات tooling strip , rail or frame. وهذه القضبان هى عبارة عن نفس مادّةَ لوح الدائرة المطبوعة إضافية حيث تُضافُ إلى جوانبِ المصفوفة للسَماح للمعالجة الأسهلِ أثناء عمليةِ التصنيع والتجميع والنقل. ويمكنُ أَنْ تَكُونَ القضبان هذه على كُلّ الأربعة جوانبِ للمصفوفة شكل رقم (٦-٤٥) أَو فقط على جانبينِ منها شكل رقم (٦-٤٦).



شكل رقم (٦-٤٥) يوضح ملامح لوح التشغيل القياسي ذو الاربعة جوانب



شكل رقم (٦-٤٦) يوضح ملامح لوح التشغيل القياسي ذو الجانبين

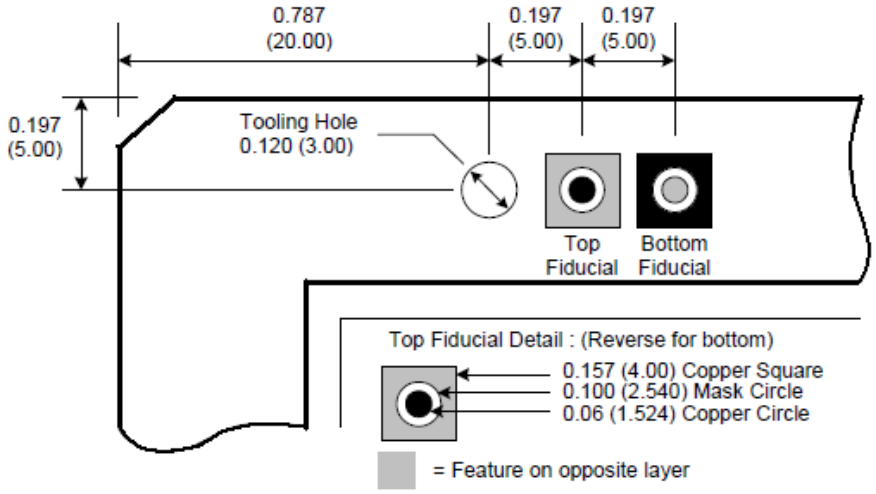
علامات التشغيل Fiducial marks

هى عبارة عن نقاط اسنادية لعمليات التصنيع Fiducials على لوح التشغيل: (علامات التشغيل- الواثق Fiducial marks):

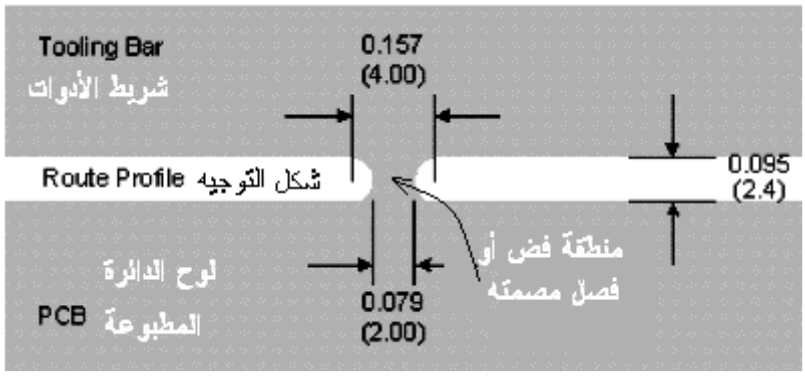
نموذجياً هى عبارة عن ثلاثة علامات fiducials مطلوبة على أى مصفوفة وتوضع هذه النقاط عادة على القضبانِ. المقاس المثالي لها يساوي ٠٥٠،٠ من البوصة. وهى عبارة عن دائرة وسادة نحاسية بنفس التشطيب كبقيّة استقرار اللوح. هذا يُعطي ضبط الاهدافُ لأجهزةِ التجميع الآليةِ للحُصُول على الأشياءِ في مواضعها. بَعْض المنتجين يستخدم علامات تشغيل fiducials هذه على كُلّ لوح فردي أيضاً. على أية حال للجزء الأكبر هناك وسادات أَو ميزّات أخرى على الألواحِ الفرديةِ التي يمكن أن تُستَعملَ لتعطي أهدافِ الإصطفافِ الإضافيةِ.

فتحات التشغيل Tooling Holes:

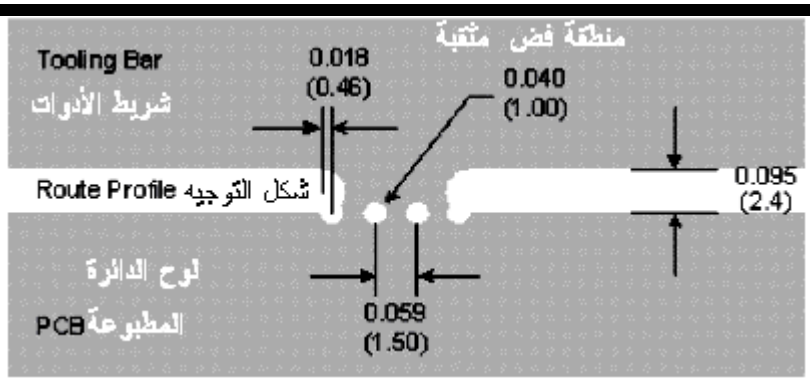
تعتبر فتحات التشغيل في الأربعة أو الثلاثة زوايا من مصفوفة pcb على القضبانِ شائعة جداً. مرة ثانيةً تستَعملُ هذه للمُسَاعَدَة في الضبط والتوجيهِ عند تجميع اللوح. المقاس المثاليَ لها يساوي ١٢٥، ٠ من البوصة وهذه الفتحات غير مَطْلية.



شكل رقم (٦-٤٧) يوضح فتحات وعلامات التشغيل

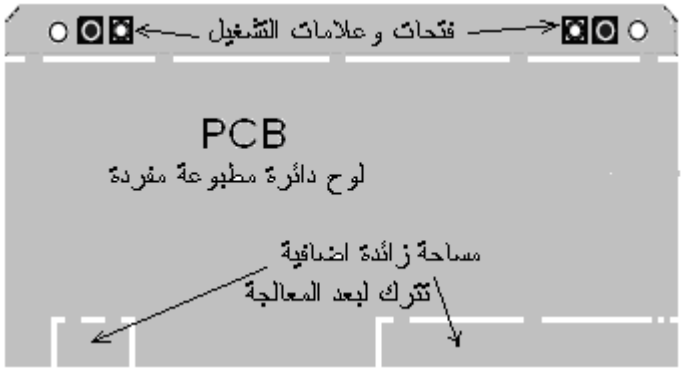


شكل رقم (٦-٤٨) يوضح منطقة قطع أو فض مصمته للوح الدائرة المطبوعة عن إطار لوح التشغيل

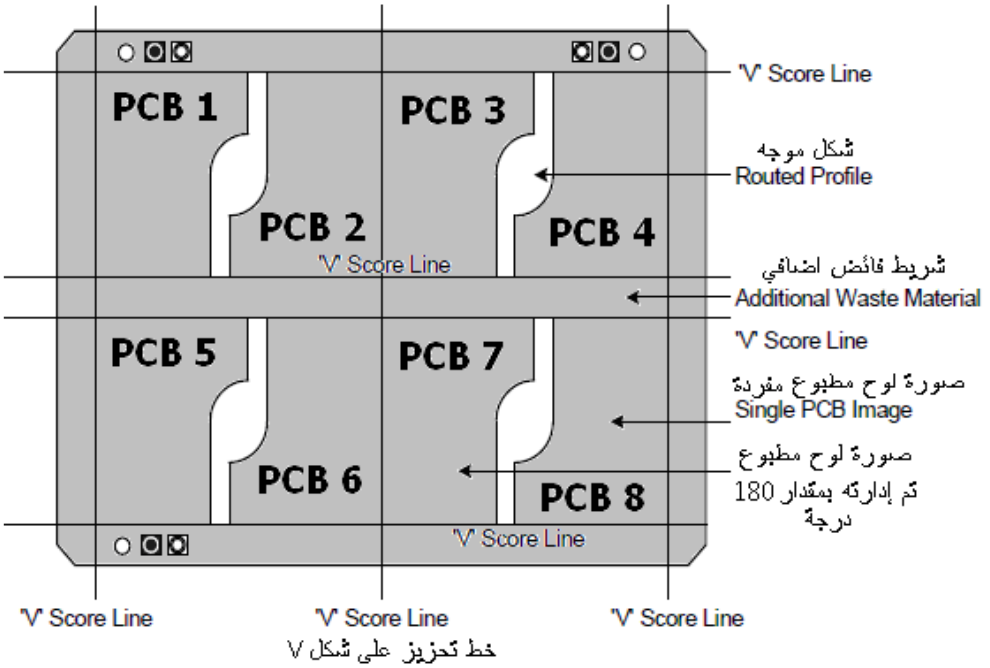


شكل رقم (٦-٤٩) يوضح منطقة قطع أو فض مثقبة للوح الدائرة المطبوعة عن إطار لوح التشغيل

شكل رقم (٦-٥٠) يوضح لوح دائرة مطبوعة يحتوي اشرطة أدوات ويعامل كلوح تشغيل



شكل رقم (٦-٥١) يوضح لوح دائرة مطبوعة غير منتظم الشكل



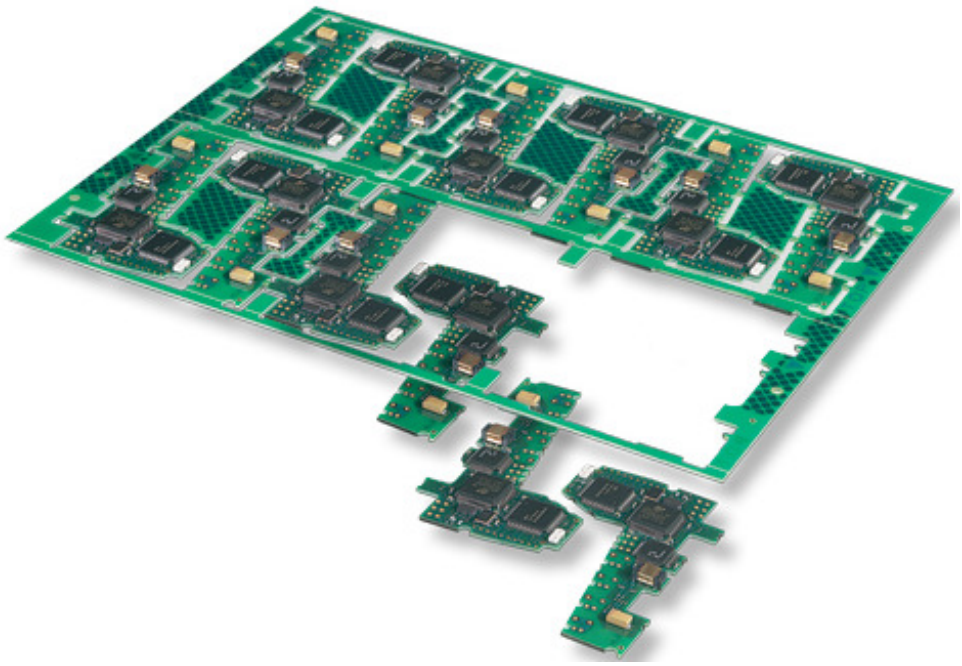
شكل رقم (٦-٥٢) يوضح لوح تشغيل يحتوي ثمانية ألواح دائرة مطبوعة تم تحديدها بالتحزيز والتوجيه

٦-٦-١ طرق فصل أو فض لوح الدائرة المطبوعة من لوح التشغيل: De-panelling methods:

بالإضافة إلى تَرتيب الدوائرِ ضمن لوح التشغيل، فإن المصمم يَجِبُ أَنْ يَعطي فكرَ بالنسبة إلى كيفية إزالة التجميعات الفرديةِ. كما ذُكِرَ، إستعمال ضغطِ إصبعِ المشغلِ قَدْ يؤثر على العناصر بالإضافة إلى اللوح، لكن هذه النظرةِ شائعة من المؤسف. للأشكالِ الصغيرةِ المعقّدةِ، وإنتاج المقاسات الدقيقة، فإن الامان والحل السريع هو الفصل عند مناطق الكسر لكُلّ الشرائط بإستعمال الكفة والقاطع punch and die .

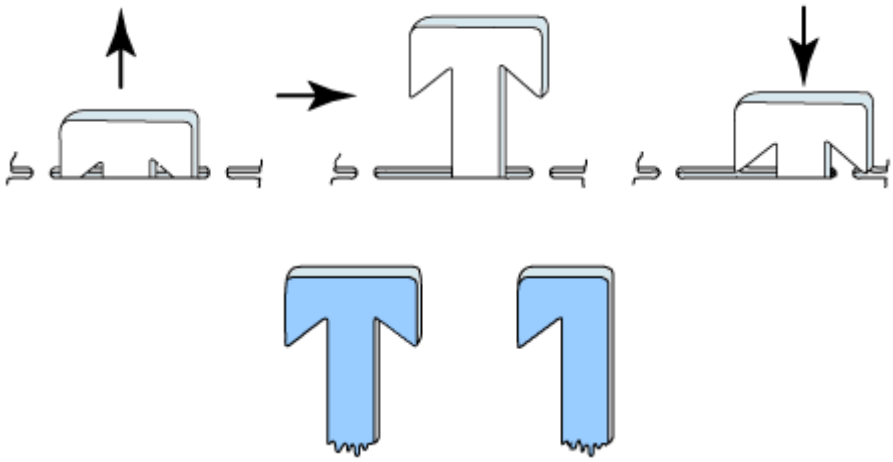
٦-٦-١-١ قطع أو كسر العروات Break-off tabs

حيث المقاسات أصغر، فإن قْطعُ الشرائط يُمْكِنُ أَنْ يزالَ بإستعمال نفس نوعَ توجيه الأجهزةِ المستخدمة أثناء صناعةِ اللوح، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٦-٥٣). بمقارنة صناعةِ اللوح، فإن الممارسة الطبيعية يكون لَها نظرةُ المسارَ مِنْ تحت اللوح، كسطح اللوح السفلي عادة لَيسَ مُجَهَّز بالعناصر البارزةِ.



شكل رقم (٦-٥٣) يوضح لوح التشغيل وفض بعض ألواح الدوائر المطبوعة منه

للكمياتِ الأصغرِ، يمكن أن تزال الدوائر الفردية مِنْ لوح التشغيل باستعمال "ماكينةً القضم nibbling machine ". حيث لَها نصل معدني يتم ادخاله خلال فراغ العروة المَشقوق في لوح التشغيل، بالحركة في اتجاه أعلى شريط الكسر، وبعد ذلك جذبه لأسفل مستوى لوح التشغيل، قاطعاً بذلك شريط الكسر، كما هو موضح في الشكل (٦-٥٤).

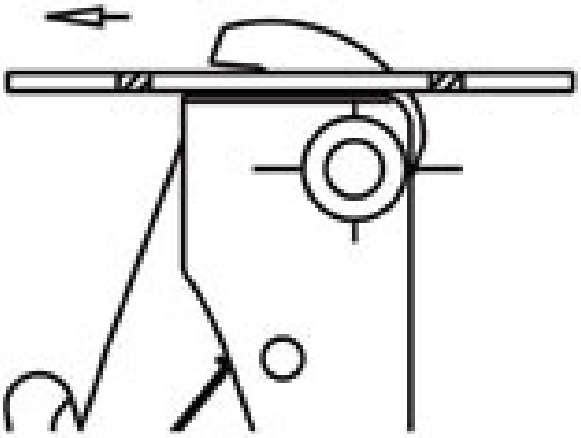


شكل رقم (٦-٥٤) يوضح بعض أدوات فض أو فصل الألواح المطبوعة من لوح التشغيل

مشغل الماكينةَ سَيُحدّدُ مكان لوح التشغيل أعلى النصلِ، حيث يعمل بضغط الزيت pneumatically وتَحْتَ سَيْطَرَة دواسة قدمِ.

هناك إثنان مِنْ أنواعِ النصلِ بإستعمالَ مشتركَ، كما هو موضح في الشكل رقمِ (٦-٥٤). فائدة النصلِ على هيئةِ T هو أنه يُمْكِنُ أَنْ يقتربَ شريط الكسر من أي إتّجاهِ، حيث لا يفي بالحاجة إلى مناورةِ اللوح. على أية حال، نوع الخطّافَ يَحتاجُ إلى أقل خلوص بين الشرائط لكي يدخل الرأس خلال الفجوةِ.

الشكل رقم (٦-٥٥) يوضح أداة من الادوات اليدوية المستخدمة في فض الالواح المطبوعة من لوح التشغيل



شكل رقم (٦-٥٥) يوضح أداة من الادوات اليدوية المستخدمة في فض الالواح المطبوعة

ملحق

المصطلحات الفنية

Technical Terms

ملحق رقم (1)

المصطلحات الفنية
Technical Terms

المصطلحات الفنية والقياسية المستخدمة في موضوع هذا الكتاب والتي استخدمت قام المؤلف بذكر المصطلح باللغة الانجليزية وما يقابله باللغة العربية، يَجِبُ على القاريء التعرف عليها جيداً حتى يمكنه قراءة هذا الكتاب بسلاسة دون الوقوع في خطأ الالتباس وتداخل المعاني الفنية وهى كما يلي :

العبارات والكلمات العربية الفنية الواردة بالكتاب
المستخدمة من قبل المؤلف

أ

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Laminates	أللوح المدعوم (ألواح مكونة من رقائق من مواد مختلفة لتطوير خواصها حتى تتوافق مع بيئة الاستخدام)
Deburr	إزالة رايش حافة الفتحة المثقوبة: عملية إزالة الرايش بعد الثقب
Desmear	ازالة الراتنج المحترق من الفتحات: إزالةُ الراتنج المنصهر نتيجة إحتكاكِ جدران الفتحة مع بنطة الثقب وحطامِ عملية الثقب مِنْ حوائط الفتحةِ.
Layer Stack	إرتصاص (تكدس) الطبقات:

	هو عملية رص طبقات اللوح المطبوع من الطبقات العازلة والموصلة والرابطة المستخدمة لبناء لوح الدائرة المطبوعة.
Dimensional Stability	إستقرار بعدي: هو مقياس للتغيرِ البعدي للمادّة الذي يكون سببه عواملِ مثل التغير في درجةِ الحرارة، التغير في الرطوبة، المعالجة الكيميائية، والتعرّض للإجهادِ.
Epoxy	ابوكسي : هو من عائلة الراتنج الثيرموست thermosetting. تعمل الراتنجات على تكوين روابط كيمياوية مع العديد من الاسطح المعدنية.
Finger	إصبع : هو عبارة عن أى طرف مطلي بالذهب من مقبس حافة بطاقة إلكترونية.
Ground / Ground Plane	أرض / مستوى أرض: أي طبقة موصلة، أَو جزء من طبقة موصلة، إستعملَ كنقطة اسناد مشتركة لأطراف عودة الدائرةِ returns، والتحجيب shielding، أَو التسريب الحراري heat sinking .
High Density Interconnect (HDI)	ألواح ذات الكثافة العالية للرْبطُ ، HDI الهندسة فائقة الدقة لألواح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات والمبنية بأسطحِ موصّلة مزودة بتوصيلات عن طريق فتحات نقاط عبور دقيقة Microvia بين الطبقاتِ. تَتضمّنُ هذه الألواحِ أيضاً فتحات نقاط عبور مدفونةِ buried عادة و/ أَو مستورة blind منفذة بواسطة التصفيحِ المتسلسلِ.
Hot Air Solder Leveling (HASL)	أستواء اللحام بالهواء الساخن : هى طريقة لطلاء النحاسِ المكشوفِ باللحامِ بإدْخال لوح التشغيل إلى حمّام اللحامِ المنصهر ثمّ عبور لوح التشغيل بسرعة أمام الهواء الساخن .
Land	أرض الهبوط (للعنصر): هو جزء النمطِ الموصّلِ (الوسائد) على الدوائرِ المطبوعةِ المحدد لتثبيت أَو ربطِ العناصر على لوح الدائرة المطبوعة.
Lifted Land	أرض الهبوط المَرْفُوعة:

هـي أي أرض هبـوط land للعناصـر سـطحية التثبيـت (مـا يقابـل الوسائد pad للعناصر التقليدية) مرفوعة أو فصلت بالكامل أَو فَصلتْ جزئياً مِنْ المادّةِ الأساسيةِ، سواء أن كان هناك راتنج مرفوع معها أو لا.	
إزاحة الثقب عن مركز الوسادة : هو التسجيل الرديء بين الثقب و الوسادة على لوح الدائرة المطبوعة للدرجة التي يكون فيها الثقب ليس في مساحة الوسادة النحاسية.	Breakout
أداة الضوء : هى أي فيلم شفّاف يَحتوي نمطَ الدائرةَ، المُمَثَّلُ بواسطة سلسلة من خطوطِ النقاطِ عند درجة وضوح عالية.	Phototool
أظهر: هو أى عملية تصوير التي فيها مقاوم الضوء الغيرِ مُبَلمَر (غير معرض للضوء) يذوّبُ أَو يجْرَفُ بعيداً لإنْتاج لوح نحاسي بنمط مقاوم ضوء للنقش أَو التصفيح.	Develop

ب

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
بثرة: هى أي منطقة ورمِ وفصل أَو فض تثبيت الرقائق delamination بين أيّ مِنْ طبقاتِ المادّة الأساسية المدعومة، أَو بين المادّةِ الأساسيةِ وورقِ النحاس الرقيق.	Blister
بناء رئيسي (بناء اللب): هى عبارة عن طريقة لصناعة لوح الدائرة المطبوعة التي تُكوّمُ الموادَ الرئيسيةَ بمادّةِ الطبقة الرغوية العازلة الوسّطيةَ. هذه الطريقةِ تُنتج دائماً في عَدد زَوجِيٍّ من الطبقاتِ .	Core Construction

Barrel	برميل: شكل حائط الفتحة الخلالية المثقبة بعد عملية التصفيح.
Epoxy Glass Substrate	بنية تحتية زجاجية إبوكسية: أي راتنج إبوكسي بشقيه يُلمرُ آنياً عندما يكون المكوّنان المُخْتَلَطان، مندمجان مع الياف زجاجٍ لتَشكيل البنية التحتية
Foil construction	بناء الورقِ المعدني الرقيق: هى طريقة لصناعة لوح الدوائر المطبوعة مشابهة للبناءِ الرئيسيِ Core Construction ماعدا أنها تكون في الطبقاتِ الخارجيةِ. الطبقاتَ الخارجيةَ تكون مضافة بإستعمال شرائح مِنْ الورقِ المعدني النحاسيِ الرقيق على قمةِ الطبقة الرغوية العازلة. بالرغم من أنَّ هذه الطريقةِ يُمْكِنُ أَنْ تُنتجَ عدد فردي نظرياً من الطبقاتِ إلا أنه يُوصي لما زالَ إستعملْ عَدد زَوجِيَّ بسبب خطرِ warpage والتكلفة (وهو أرخصُ عادة لإضافة طبقة).
Gerber Data	بيانات جربر : هى نوع من البيانات تتكون من أوامر بيانية graphic ، عادة تصف كيفية رسم صورة الدائرة . و هى مخصصة لتوجيه الراسم الضوئي photoplotter ، و هى صيغة أكثر شيوعاً لنقل البيانات من نظم تصميم الدوائر المطبوعة بمساعدة الحاسب PCB CAD إلى العمليات الصناعية . و بيانات جربر هذه تم تسميتها تجارياً بالمسمى RS-274-D (بدون embedded aperture codes) و RS-274-X (مع embedded aperture codes)
Substrate	بنية تحتية : هى المادّة التي عليها مادةِ لاصقةِ سطحيّةِ تتُنْشَرُ للإلتِصاق أَو الطلاء. أيضاً، هى أيّ مادّة تعطي سطح داعم للموادِ الأخرى المستَعملة لدَعْم أنماطِ الدائرةِ المطبوعةِ.

ت

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Electro-Magnetic Compatibility (EMC)	توافق كهرومغناطيسي
Layout	تخطيط عملي
Computer Aided Design (CAD)	تصميم بمساعدة الحاسب
Multilayer Technology	تكنولوجيا متعددة الطبقات (ألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات.)
Single-side Technology	تكنولوجيا أحادية الجانب (ألواح الدوائر المطبوعة أحادية الطبقة النحاسية الموصلة)
Double-side Technology	تكنولوجيا مزدوجة الجوانب (ألواح الدوائر المطبوعة مزدوجة الطبقات النحاسية الموصلة)
Grounding, Earthing	تأريض
Mains, Mains supply, Mains electricity	تغذية القدرة الكهربائية للأغراض العامة
Bed-Of-Nails	سرير المساميرِ: هى طريقة لإختبار البطاقات الإلكترونيةِ المطبوعةِ التي تَستخدمُ طريقة تثبيت نقاط اختبار بواسطة مجموعة دبابس ترتبط بالفتحات الخلالية المصفحة على اللوح.
Bow	تقوس: هو الإنحرافَ عن تسطح flatness اللوح، ويميّزَ بواسطة التقوس الإسطواني أَو الكروي تقريباً مثل هذا الذي إذا كان اللوح مستطيل. زواياه الأربعة تكون في نفس المستوى.

Electro Deposition	ترسيب كهربائي : هو ترسيب مادّة موصّلة مِنْ محلول تصفيح بتطبيقِ التيارِ الكهربائيِ.
Electroless / Electro less Copper Electroless / Electro less Deposition	ترسيب غير كهربائي للنحاس: هو عبارة عن طبقةَ رفيعة من النحاسِ مرسبة على السطحِ البلاستيكيِ أَو المعدنيِ للوح الدائرة المطبوعة مِنْ أى محلول تصفيح ذاتي التحفيز autocatalytic (بدون تطبيقِ التيارِ الكهربائيِ).
Deposition (Electroless) Plating	التصفيح أو الطلاء أو الترسيب الغير كهربائي: هو ترسيب المعدنِ مِنْ أى محلول تصفيح ذاتي التحفيز بدون تطبيقِ التيارِ الكهربائيِ. وتعرف بالمختصر"electrodeless." هذه العمليةِ مطلوبة لطَلاء حوائط الفتحةِ الغيرِ موصّلةِ لكي يتم طْلائها بعد ذلك كهربياً. أيضاً تعرف هذه الفتحات بالمختصر "PTH".
Imaging	تصوير: العملية التي فيها بيانات لوح التشغيل panelization تنقل إلى الرسام الضوئيphotoplotter، الذي بدوره يستعملُ الضوءَ لنقل الصورة السلبية لنمط مجموعةِ الدوائر إلى لوح التشغيل.
Immersion Plating	تصفيح بالغمس : هو الترسيب الكيميائيَ لغطاء معدني رفيع على بَعْض معادنِ القاعدةِ المُنجَزةُ بواسطة الإزاحة الجزئية مِنْ معدنِ القاعدةَ basis metal.
Inner layer Connection	توصيل الطبقةِ الداخليةِ: هو الموصل الذي يُوصلُ الأنماطَ الموصّلةَ على الطبقاتِ الداخليةِ للوح المتعدد الطبقات المطبوعة، ومثال على ذلك: الفتحةِ الخلالية المصفحة أو المطلية plated-through hole .
Registration	التسجيل: درجة الإلتزامِ إلى موقعِ نمط، أَو جزء منه ، فتحة أَو ملمح آخر إلى موقعِه المقصودِ على مُنتَج.
Layer-to-Layer Registration	تسجيلِ طبقة لطبقة: هى درجة إلتزامِ نمط موصّل، أَو جزء من ذلك، مع أيّ طبقة موصلة

أخرى من طبقات اللوح المطبوع المتعدد الطبقات.	
تسجيل، علامة : هى أي نمط مُجَدَّد (رمز) الذي يكون مستعمل كنقطة اسناد للتسجيلِ.	Registration Mark
تقنطر : هو تكون مادة اللحام بين المسارات أو الوسائد مسببةً قصر في الدائرة.	Bridging
تثقيب أو ثقب أو بنطة : تنفيذ التثقيب خلال لوح الدائرة المطبوعة (في الوسائد pads وفتحات العبور vias) أو تنفيذ ثقوب (مطلية) خلال طبقات موصولة معاً للوح دائرة مطبوعة متعددة الطبقات.	Drill
تغليف: هو شكل وحجم المجسم العملي لعنصر عند أحد مساقطه الهندسية أو هو شكل أثر القدم (شكل توزيع أطراف الهبوط للعنصر –أو شكل توزيع الوسائد للعنصر) وتخزن هذه الأشكال في مكتبة البرنامج . وهو الشكل العملي الذي يظهر به العنصر على سطح لوح الدائرة المطبوعة أو الذي يظهر به من ناحية المسارات و الوسائد النحاسية	Package
تصفيح أو طلاء النمطِ: هو عبارة عن تصفيح أو طلاء إنتقائي لنمط موصّل.	Pattern Plating
تصوير مقاوم الضوء: هى الصورة المكشوفة والمظهرة في الطلاء على المادّة الأساسية.	Photo Resist Image
تحزيز: هو الاسلوب الذي فيه يتم حفر أخاديد على الجوانبِ المعاكسةِ للوح التشغيل للعمق الذي يَسْمحُ بفصل الألواحِ المطبوعة الفرديةِ مِنْ لوح التشغيل بعد تجميع العناصر.	Scoring
تغطية أو طلاء باللحام : هى طبقة اللحامِ التي تطبق مباشرة مِنْ حمّامَ لحامِ منصهر إلى نمط موصّل.	Solder Coat
تَعْرِية:	Stripping

هى العملية التي فيها يتم ازالة مادة التصوير (المقاومُ) كيمياوياً مِنْ لوح التشغيل أثناء الصناعةِ.	
تَنْشيط: هى أي معالجة كيميائية تَسْمحُ للوح المدعوم الغيرِ موصّل لقُبُول التغطية أو التصفيح أو الطلاء الغير كهربائي electroless. أيضاً يسمّى، تَحفيز catalyzing وبَذْر seeding وتَحسيس sensitizing.	Activating
تثبيت الرقاقة على اللوح: ومختصرها بالانجليزية هو COB وهى عبارة عن دوائر تكاملية أَو قالب عاري bare die تم لصقه وتوصيل أطرافه السلكية مباشرة إلى البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ بدلاً مِنْ تغليفها أولاً. وبعد ذلك عرفت بالكرةِ السوداءِ للبلاستيكِ الملتصقة على اللوح	Chip-on-board

ث

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

ج

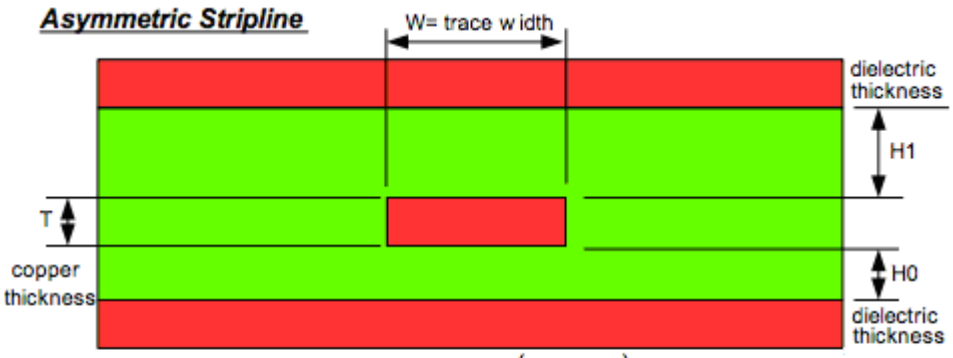
المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
جدول التثقيب : هو وصف لمقاسات الثقوب المستخدمة لإنشاء لوح الدائرة المطبوعة. الثقوب تكافئ قائمة الفتحات aperture list .	Drill Table

ح

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
حلقة متبقية : هى جزء المادّةِ الموصّلةِ المحيطِ المحيط تماماً بالفتحة المطلية plated hole أَو فتحة نقطة عبور via. أو هى المساحة النحاسية المتبقية من الوسادة بعد ثقبها. وهى موْجَودة على الطبقاتِ الداخليةِ والخارجيةِ.	Annular Ring

خ

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
خزانة	cabinet
خط شريطي : مسار يسير بين مستويين أرضيين. راجع ما تحت الكلمات التماثلي symmetric والغير تماثلي asymmetric.	Stripline
خط شريطي غير متماثل: مشابه للخط الشريطي stripline المتماثل ماعدا أن سُمكِ العازلِ أعلى وأسفل المسار النحاسي مختلف. مع ملاحظة أن المادّةَ نموذجياً نفس النوعِ.	Asymmetric Stripline



$$Z_0(W, H_1, H_0, T, \varepsilon_r) := \frac{80}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \ln\left[1.9 \frac{(2 \cdot H_0 + T)}{(0.8 \cdot W + T)}\right] \cdot \left(1 - \frac{H_0}{4 \cdot H_1}\right)$$

$\varepsilon_r := 4.2$ dielectric constant of common FR4 material

$W := 4, 4.5 .. 12$ common values for trace width

NOTE: in the above formula H1 is always the larger value and H0 is the smaller.

Symmetric Stripline	خط شريطي متماثل: هذه الهندسةِ تَشْملُ المسار السائر بين مستويين أرضيين واقعان في الطبقاتِ أعلى وأسفل بنفس سُمكِ ومادّةِ العازل على كلا الجانبينِ.

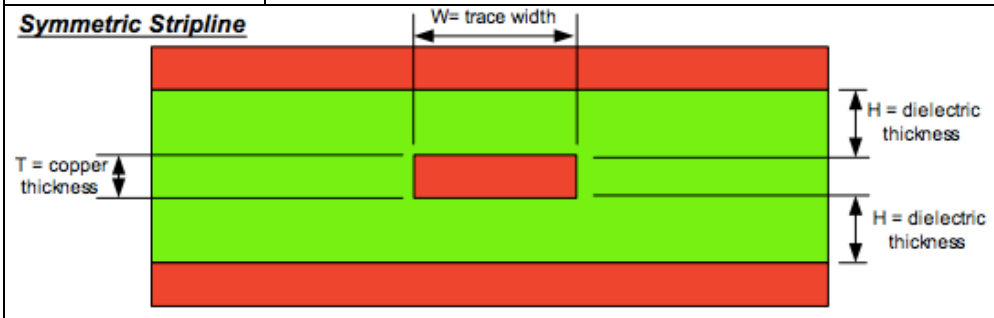


Figure 10: Symmetric Stripline diagram

Edge Clearance	خلوص الحافةِ: هى المسافة الأصغر مِنْ أيّ مسار نحاسي أَو أى عنصر من عناصر الدائرة إلى حافةِ لوح الدائرة المطبوعة.
Ground Plane Clearance	خلوص المستوى الارضي : الأجزاء المُزَالة من مستوى الأرض التي تَعْزلُها مِنْ أى فتحة في المادّةِ الأساسيةِ التي إليها يكون المستوى الارضي مرتبطاً.
Pitch	خطوة أو درجة :

المسـافة الإسـمية بـين مركـزى موصـلين متجـاورين. (عنـدما تكـون الموصـلات بمقاس واحد ومسافاتهم البينية موحدة ، فإن الخطوة تكون مقاسة عادة من الحافة الاسنادية للموصلات المتجاورة.)	

د

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Analogue circuits	دوائرِ تماثلية
Digital circuits	دوائر رقمية
Fine Pitch	درجة رفيعة: الدرجة الرفيعة عموماً تشير أكثر إلى العناصر المثبّتة سطحياً مَع درجة اطراف تقدر بحوالي ٢٥ mils أو أقل.
Glass Transition Temperature , Tg	درجة حرارة الإنتقالِ الزجاجيةِ، Tg هى درجة الحرارة التي عندها أى بولمر غير متبلور amorphous polymer، أَو المناطق اللا شكلية amorphous regions في البولمر ذو البلّورة الجزئية partially crystalline polymer، يتغير مِنْ أَنْ يكون في حالة صلبة ونسبياً في ظرف هشّ لأنْ يكُونَ في ظرف لزج أَو مطّاطي. Tg مهمُة للفَهْم حيث أن خصائص المواد الأساسيةِ (القاعدة) تكون مختلفة أعلى Tg عن اسفلها.
Electronic Circuit	دائرة إلكترونية : هى عبارة عن مجموعة عناصر كهربية والكترونية تم التوصيل بينها لتكوين مسار مقفل أو أكثر لأداء وظيفة كهربية أو إلكترونية مرغوبة.
Schematic circuit	الدائرة التخطيطية(النظرية) : هي الدائرة النظرية التي يستخدم فيها الرموز البيانية symbols للعناصر

الإلكترونية و الأجزاء الكهربائية، ومنها نستطيع قراءة وظيفة الدائرة و التعرف على العناصر .	
الدفينة: المقاومات، والمكثّفاتَ وقوالب الرقائق الصغيرةَ يتم دفنها داخل لوح الدائرة المطبوعة لزيادة كثافتها.	Embedded
الدرجة أو الخطوة الدقيقة: تنسب إلى أغلفة الرقائق chip packages ذات المسافات البينية بين أطرافها تحت ٠.٠٥٠ ". الخطوة الأكبرَ في هذا الصنفِ مِنْ الأجزاءِ يساوي ٠.٨ مليمترُ، أَو حوالي ٠.٠٣١ ". خطوات الاطراف الاصغر من ٠.٢ مليمترِ (٠.٠٠٨ ") مستعملة.	Fine pitch

ذ

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

ر

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
راتنج مرحلةِ B: هو عبارة عن راتنج الثيرموست thermosetting resin الذي يكون في حالةِ متوسّطةِ مِنْ العلاجِ.	B-Stage Resin
رايش قطع : مادة مقساة متروكة على لوح الدائرة المطبوعة بعد الثقب أَو القطع.	Burr

Laser Photo-Plotter	رسام ضوئي بالليزر : أي رسام يَستعملُ ليزر، حيث يحاكي موجهِ رسام فوتوغرافي بإستعمال البرامجِ لخَلْق صورة الأجسامِ الفرديةِ في قاعدة بيانات الحاسب المساعد للتصميم CAD، ثمّ يُخطّطُ الصورةَ كسلسلة خطوطِ من النقاطِ عند تحليل دقيق جداً. أي رسام ضوئي ليزرِ قادر على دقة زائدة والرسم المترابط عن راسام الموجه.
Photoplotter	راسم ضوئي : هو عبارة عن آلة تقوم بتوليد الصور الفوتوجرافية بتوجيه شعاع ضوئي محكوم يتعرض له مباشرة مادة حساسة للضوء (الفيلم الحساس).
Nail Heading	رأس المسمارِ : هى حالة الفلطحة لحافة الطبقة الداخلية النحاسِية للوح الدوائر المطبوعة متعددة الطبقات الناتجة من عملية ثقب الفتحات.
Photoplotting	رسم فوتوغرافي : هى عبارة عن عملية فوتوغرافية التي بواسطتها تولد صورة بواسطة التحكم في شعاعِ الضوءِ التي تُعرّضُ مباشرة مادّة حسّاسة للضوء.

ز

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
E-glass or ""electronic glass	زجاج إلكتروني : هو عبارة عن الزجاجُ الأساسيُ المستعملَ في الغزولِ الذي يستَعملُ لبِناء أنسجةِ الألياف الزجاجيةِ، وهو أقلّ غلاءاً بين ثلاثة أنواع هى، E-glass, S-Glass or NE-Glass.

Property	E-Glass	NE-Glass
CTE (Coefficient of Thermal Expansion) – ppm/C	5.5	3.4
Dielectric Constant (Er) @ 1MHz	6.6	4.4
Dissipation Factor @ 1MHz	0.0012	0.0006

س

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Base Material Thickness	سُمك المادة الأساسية: سُمك المادّةِ الأساسية باستثناء ورق أَو مادّةِ المعدن المرسب على السطحِ.
Board Thickness	سُمك اللوح : هو السُمك العامّ للمادّةِ الأساسية وكُلّ المواد الموصّلة المرسبة عليها
Core Thickness	سُمك رئيسي (سمك اللب): هو السُمك الاساسي للوح المدعوم بدون النحاسِ.
Laminate Thickness	سمك اللوح المدعوم: سُمك المادة الأساسيةِ المغطاة بالقشرة المعدنية، على جانب واحد أو كلا الجانبين، قبل أيّ معالجة لاحقة.

ش

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Bevel	شطف الحواف : الحافة المشطوفة للوح المطبوع.
Chamfer	الشطف :

	هو تشكيل الأركان للتخلص من الحواف الحادة.
Embedded Microstrip	شريط دقيق دفين: مشابه للشريط الدقيق السطحي surface microstrip لكنه مدفونَ داخل المادّةِ العازلةِ.

Embedded Microstrip

Embedded Microstrip diagram

The formula to use in this case is the same as for the regular microstrip, adjusted to reflect the higher capacitance due to the presence of dielectric on top of the trace. This adjustment consists of defining a "virtual permitivity" that is a function of the ratio between the main dielectric thickness and the total dielectric thickness. The formula used in the industry is:

$$Z_0(W,H,H1,T,\varepsilon_r) := \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r\cdot\left(1-\exp\left(-1.55\cdot\frac{H1}{H}\right)\right)}}\cdot\ln\left(\frac{5.98\cdot H}{T+0.8\cdot W}\right)$$

Here we see clearly that al these formulas should be taken as approximations and the specific geometry should be verified by coupon measurements. Notice that the equations for embedded microstrip T approaching zero and with H1 approaching H is not identical to the equation for the plain microstrip. Now, defining for convenience the "depth of embedding"

$$H2(H1,H,T) := H1 - T - H$$

$$Z_0(W,H,H2,T,\varepsilon_r) := \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r\cdot\left(1-\exp\left(-1.55\cdot\frac{H+H2+T}{H}\right)\right)}}\cdot\ln\left(\frac{5.98\cdot H}{T+0.8\cdot W}\right)$$

$W := 4, 4.2 .. 12$ range for trace width

$\varepsilon_r := 4.2$ dielectric constant of the material

Microstrip	شريط دقيق: يَتضمّنُ مساراً يَجْري على سطحِ لوح دائرة مطبوعة مفَصولَ بطبقة واحدة أَو طبقاتِ أكثرِ مِنْ مادّةِ عازلةِ مِنْ مستوى أرض موضوع تحت السطح. وهو يُدْعَى أيضاً "شريط دقيق سطحي"لتَمييزه عنْ الإختلافاتِ "المَكْسُوةِ coated " أَو "الدفينة embedded ".

شكل الهبوط : وهى عبارة عن مجموعة الوسائد الموصولة بالدائرة المطبوعة و المهيأة لمقابلة أو لتوصيل الأطراف الدبوسية للعنصر المراد ربطه على الدائرة المطبوعة.	Landing Pattern
شرائح النحاس الرقيقة	copper foil

ص

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
صورة فوتوغرافية: هى عبارة عن صورة في قناع فوتوغرافي (ضوئي) أَو في مستحلبِ موضوع على فيلم أَو شريحة.	Photographic Image

ض

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

ط

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
طلاء إمتثالي: هو عبارة عن طلاء وقائيٍ عازل والذي يَتماثل مع ترتيبِ الجسمِ المغطى ومطبق على تجميع اللوح الكامَل.	Conformal Coating

Electroplating	طَلاء أو تصفيح كهربائي: Electrodeposition هو ترسيب كهربائي لأى طلاء أو غطاء معدنيٍ ملتصقٍ على جسم موصّل. الجسم الّذي سَيُطْلَى مَوْضُوعُ في المحلول الكهربي ومُرتَبِطِ إلى أحد طرفي مصدر التيار المستمر (DC) voltage source. المعدن الّذي سَيرسب يُغْمَرُ بنفس الطريقة ويُوصلُ إلى الطرف الأخر لمصدر التيار.
Emuliosn, stencile	طبقة حساسة
wavelength	طول موجي
Inner-layers	طبقات داخلية: الطبقات الداخلية للوح المدعوم والورقَ المعدني ضمن اللوح المتعدد الطبقات.
Outer Layer	طبقة خارجية: هى عبارة عن طبقتى القمة Top و القاع Bottom لألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات. هاتان الطبقتان تستخدمان دائماً كطبقات مسارات tracks.
Inner Layer	طبقة داخلية : هى عبارة عن الطبقات الداخلية لألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات و هى دائما ملتصقة بطبقة اللب العازلة . هذه الطبقات يمكن أن تستخدم كطبقات مسارات tracks أو مسطحات أرضية ground plane .
Base Copper	طبقة النحاس الأساسية : هو الطبقة النحاسية الرقيقة الملتصقة على سطح المادة الأساسية و التي يتم تشكيلها بشكل المسارات و الوسائد المعبرة عن توصيلات الدائرة الالكترونية. يمكن أن يلصق طبقة نحاس أساسية واحدة على أحد أوجه المادة الأساسية أو على وجهيها.
Prepreg	طبقة رغوية عازلة: وهى طبقة عازلة رغوية (لاصقة بفعل الحرارة و الضغط)-(أو هى ألواح

من الألياف الزجاجية المنقوعة في مادة لاصقة جزئياً) تقوم بالربط بين مجموعات اللب (مجموعة اللب = لب +طبقة أو طبقتان من النحاس على أحد الأوجه أو على الوجهين) أو بالمعنى العام تقوم بالربط بين طبقات لوح الدائرة المطبوعة متعددة الطبقات. والطبقة الرغوية العازلة هى عبارة عن مادّة شرائحية (ومثال على ذلك: نسيج زجاجي) ملقحة أو متشربة براتنج معالج إلى مرحلةِ متوسّطةِ (راتنج مرحلةِ B). يَستعملُ أغلب منتجي ألواح الدوائر المطبوعة حالياً خمسة أنواع مِنْ الطبقة الرغوية العازلة prepreg وهى الاشكال الزجاجية glass styles مثل: ١٠٦، ١٠٨٠، ٢١١٦، ١٥٠٠ و٧٦٢٨. نتيجة لتقييداتِ مُخْتَلِفةِ مثل عددِ الطيّاتِ و/ أَو أنواع الطبقات الرغوية prepreg التي يُمْكِنُ أَنْ تستَعملَ بين طبقاتِ اللوح، لابد من مناقشة منتجِ لوح الدائرة المطبوعة لتطبيقات معيّنة. لَيست كُلّ الأشكال شائعة في كُلّ الاسواق.	
طباعة فوتوغرافية (ضوئية): هى عملية تشكيل صورة نمطِ دائرةِ بتصلّب مادة بلمرة حساسة للضوء photosensitive polymeric بمرور الضوءِ خلال فلم فوتوغرافي مشكل بنفس نمط الدائرة.	Photo Print
طِباعَة بالشاشة : هى عملية نقل صورةَ إلى سطح بدفع مادة مناسبةِ خلال شاشة ستينسلِ بممسحة.	Screen Printing

ظ

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

ع

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
عمل فني: هو ترتيب مَقيس بدقّة يُستَعملُ لإنتاج العمل الفني الأصلي artwork masterأو الإنتاجِ الأصلي production master.	Artwork
عمل فني أصلي: هو الفيلم الفوتوغرافي الذي يُجسّدُ صورةَ نمطِ لوح الدائرة المطبوعة، عادة بمقياس ١:١	Artwork master
علامة الواثق : أي ملمح (أو ملامح) لعمل فني للوح مطبوع تلك المَخْلُوقةُ بنفس العمليةِ كالنمط الموصّل والتي تعطي نقطة قابلة للقياس مشتركة لوضع العنصر فيما يتعلق بنمط الأرضِ أَو أنماطِ الأرضِ.	Fiducial Mark
عملية المضافِ بالكامل: عملية مضافِ حيث كامل سُمكِ الموصلات المَعْزُولة بشكل كهربائي مكتسبة بإستعمالِ الترسيب الغير كهربائي electroless.	Fully Additive Process
عناصر التثبيت السطحي: وهى التكنولوجيا الأحدث لصناعة و تجميع العناصر الإلكترونية، حيث يمكن تصنيع كافة العناصر بهذه التكنولوجيا سواءً المقاومات أو المكثفات أو الترانزستورات أو الدوائر المتكاملة ..الخ. و تمتاز هذه العناصر بصغر حجمها مقارنة بالعناصر التقليدية.	Surface Mount Devices (SMD)
العرض الحلقي الأدنى: العرض الأدنى للمعدنِ (أو المعادن) في اضيق نقطة بين حافةِ الفتحة والحافة الخارجية لأرض الهبوط (الوسادة) المحيطة. (هذا التحديد	Minimum Annular Width

ضروري للفتحةِ المَثقوبة على الطبقاتِ الداخلية لألواحِ الدوائر المطبوعة متعددةِ الطبقات وضروري لحافةِ التصفيح على الطبقاتِ الخارجيةِ للوح الثنائي الجانب والمتعددةِ الطبقات للألواح المطبوعةَ)	
عدم توافق التمدد الحراري: الإختلاف المُطلق بين التمدد الحراريٍ لمكوّنين أَو مادتين.	Thermal Expansion Mismatch
عملية مضافِ: أي عملية في تصنيع البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعِة حيث أنَّ نمط الدائرةَ ينتجَ بإضافةِ المعدنِ بدلاً مِنْ حفر المعدنِ خارج النمط وإخراجه بعيداً.	Additive Process

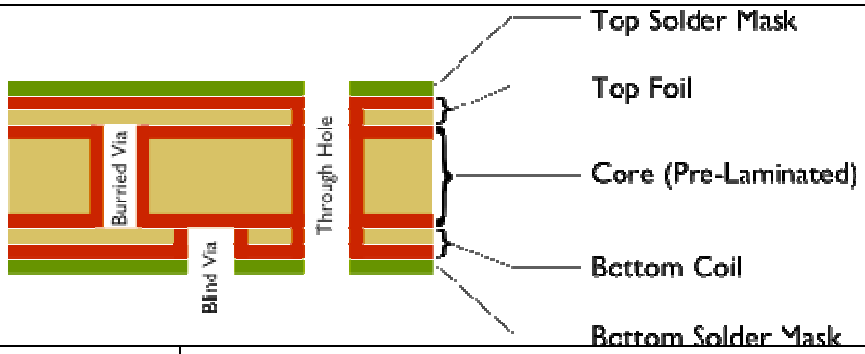
غ

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

ف

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
فض تثبيت الطبقات: الفصل بين أيّ مِنْ طبقاتِ قاعدةِ اللوح المدعوم أَو بين اللوح المدعوم ومنشأ القشرة cladding المعدنية مِنْ أَو المتمدّدُة إلى حواف فتحة أَو حافة لوح.	Delamination
فراغ اللوح المدعوم: هو غياب الراتنج الإبوكسي في أيّ مساحة قطاع عرضي والتي يَجِبُ أَنْ تَحتوي على راتنج ابوكسي بشكل عادي.	Laminate Void

Hole	فتحة: ثقب غير مطلي في تخطيط لوح الدائرة المطبوعة. (ومثال على ذلك: – فتحة أو ثقب تثبيت شيء في اللوح أو تثبيت اللوح في الكابينة).
Via	فتحة نقطة العبور : هى عبارة عن فتحة مطلية من الداخل لتغيير طبقة مسار (لربط مسار في طبقةٍ إلى مسار في طبقة أخرى) . راجع أيضاً ثقب العبور الدقيق micro via، ثقب العبور المستور blind via، و ثقب العبور المدفون buried via.
Micro Via	فتحة العبور الدقيق: هى عبارة عن فتحة مطلية من الداخل (مثل فتحة العبور المستور) بقطر ثقب صغير نسبياً حيث يقوم بتوصيل الطبقة الخارجية مع الطبقة الداخلية التالية.
Buried Via	فتحة نقطة عبور مدفونة : هى عبارة عن فتحة نقطة عبور لا تمتدّ إلى سطحِ لوح الدائرة المطبوعة. تعريف آخر: هو عبارة عن ثقب مطلي من الداخل،و يقوم بتوصيل طبقتين داخليتين inner layers أو أكثر و لا يصل الطبقات الخارجية (القمة و القاع) و لا يمكن رؤيته من أحد جوانب لوح الدائرة المطبوعة، و لا يصل كل الطبقات في كل اللوح.
Blind Via	فتحة نقطة عبور مستورة : أي فتحة ذات سطح موصّل يعمل على تحقيق الرْبطُ الكهربائي بين طبقة خارجية وطبقةٍ داخليةٍ للوح متعدد الطبقات. تعريف آخر : هو عبارة عن فتحة مطلية من الداخل لربط مسار في طبقةٍ إلى مسار في طبقة أخرى ويبدأ من طبقة القمة أو طبقة القاع ولا يمر خلال كُلّ الطبقات (ليس ثقباً نافذاً للوح الدائرة المطبوعة) في عملية الإنتاج للوح الدوائر المطبوعة المتعدد الطبقات.



Access Hole	فتحة الوصول أو النفاذ: أي سلسلة من الفتحاتِ في الطبقاتِ المتعاقبةِ للوح متعدد الطبقات، كُلّ مجموعة لها مراكز على نفس المحورِ. هذه الفتحاتِ تعطي وصولاً إلى سطحِ الأرضِ على أحد طبقاتِ اللوح.
Mounting Hole	فتحة التثبيت : أي فتحة مستعملةُ للدعمِ الميكانيكيِ للوح المطبوع أَو للإرتباطِ الميكانيكيِ للعناصر إلى اللوح المطبوع.
Plated Through-Hole (PTH)	فتحة خلالية مصفحة (فتحة ذات جدران مطلية): هى أي فتحة مصفح أو مطلي حوائطها حيث يحقق هذا التصفيح أو الطلاء إتّصالَ كهربائيَ بين الطبقاتِ الموصّلةِ، أو الطبقات الخارجية، أَو كلاهما في اللوح المطبوع.
Solder Wick	فتل اللحامِ: هى نطاق band من السلكِ يزيلُ اللحام المنصهر بعيداً عن نقطة الربط أَو تقنطر اللحامِ solder bridge أَو فقط لفض اللحام desoldering.
Tooling Holes	فتحات الأداة: هو المصطلح العام للفتحاتِ المَوضوعة على لوح الدائرة المطبوعة أَو لوح تشغيل الألواح المطبوعة لأغراض التسجيلِ والتثبيت أثناء عمليةِ التصنيع.
Unsupported Hole	فتحة غير داعمة : أي فتحة في اللوح المطبوع التي لا تَحتوي تصفيح أَو أى نوعَ آخرَ مِنْ التعزيزِ الموصّلِ.

Blow Hole	فتحة انتفاخ: أي فراغ لنقطة لحام سببه خروج غاز نتيجة لمحاليل العمليةِ أثناء الدورة الحرارية.
Dry film	فيلم جاف: أي مادة قادرة على التصوير الضوئي التي تكون مثبتة إلى لوح تشغيل نحاسي عاري، والتي تتعرض لضوء أشعة فوق بنفسجية طولها الموجي ٣٦٥ nm uv خلال أداة فوتوغرافية سالبة، فإن الفيلم الجاف المكشوف يُتصلّبُ بالضوءِ uv، والفيلم الغير مكشوف يجْرُفُ بعيداً في محلول الاظهار المتكون من ٨، بالمائة كربونات الصوديوم.

ق

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Bond Strength	قوّة الربط: هى القوة لكل وحدةِ مساحة والمطلوبة لفَصْل طبقتين متجاورتينِ من لوح بقوة عمودية على سطحِ اللوح.
Dry-Film Soldermask	قناع اللحام ذو الفيلم الجاف: هو مادّةِ تغطية (مقاوم جاف الفيلم) مطبق على البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ عن طريق عملية تثبيت الطبقات lamination process لحِماية اللوح مِنْ اللحامِ solder أَو التصفيح plating .
National Electric Code (NEC)	قانون الوطني لتنظيم الكهرباء بالولايات المتحدة الامريكية
Mask	قناع: هو أي مادّةُ مطبقة لتُمكّنَ من النقش الإنتقائيَ، أو التصفيح (الطلاء)، أَو تطبيق اللحامِ إلى لوح الدائرة المطبوعة. أيضاً يسمّى قناع اللحام soldermask أَو مقاومُ.

Soldermask	قناع اللحام : هو عبارة عن مادّةِ غطاء تستَعملُ لإخْفاء أَو لحِماية المناطقِ المختارةِ من نمط الدائرة مِنْ فعل مركب الحفر etchant، أو اللحام، أَو التصفيح. أيضاً يسمّى مقاومُ أَو قناع.
Throwing Power	قدرة الرَمي قدرة محلول الطَلاء لإيداْع أو ترسيب المعدنِ بشكل موحّد (منتظم السمك) على القطب السالبِ المُشَكَّلِ بدون إنتظام.
Peel Strength	قوّة التقشير : هي عبارة عن القوةَ لكلّ عرضِ وحدةِ المطلوبة لتَقْشير ورق موصل مِنْ اللوح المدعوم عمودياً على سطحِ البنية التحتية.
Soldermask Over Bare Copper (SMOBC)	قناع لحام على النحاسِ العاري : هى طريقة لصِناعَة لوح دائرة مطبوعة التي يكون النحاس هو مرحلة التعدين metallization النهائية وبالتالي يكون اللوح بدون معدنِ وقائي. المناطقَ غيرَ المَكْسُوةَ يتم تغطيتها بمقاوم اللحام، ويتم تعريض المناطقَ الطرفيةَ للعناصر فقط. هذا يُزيل الرصاص–القصدير أسفل الوسائد.
Solderability	قابلية اللحام : هى قدرة المعدن على الترطيب باللحامِ المنصهر.
Test Coupon	قسيمة إختبارِ: هو جزء من اللوح المطبوع أَو من لوح التشغيل التي تَحتوي كوبوناتَ مطبوعةَ تُستَعملُ لتَقْرير مقبوليةِ مثل هذا اللوح.

ك

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي

كما أتفق عليه بين المستخدم والمورد As Agreed Upon Between User and Supplier	AABUS

ل

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
لوح مدعوم أساسي: هو المادّة العازلة التي عليها قد يشكل النمطِ الموصّل. المادّة الأساسية قَدْ تَكُون صلدة rigid أَو مرنةَ flexible.	Base Laminate
لاصق أكريليكِ : أى لاصق يُستَعملُ للصق دوائر مرنة متعدّدِة الطبقاتِ معاً وأيضاً يستَعملُ لتقييد أو لصق الغطاء المستعمل على الطبقات/الالواح المرنة.	Acrylic Adhesive
لوح عَارِي: هو لوح الدائرة المطبوعة الخالي من العناصر أى قبل التجميع وبعد التصميم. تعريف آخر، هو لوح الدائرة المطبوعة الذي تم الانتهاء من تصنيعه و لكن لم يتم تجميع و لحام العناصر عليه. وبمعنى آخر هو لوح الدائرة المطبوعة بعد التصميم وقبل التجميع.	Bare Board
لوح خام Raw Board: هو اللوح الذي لم يتم تشكيل مساراته و وسائده بعد، أى قبل التصميم .	
لوح الدائرة مفردة الجانب Single-sided board : هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقة النحاسية المفردة على أحد جانبيه.	
لوح الدائرة مزدوجة الجانب Double-sided board : هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقتين النحاسيتين على كلا جانبيه، ولا يتضمن طبقات داخلية inner layers .	

لوح الدائرة متعددة الطبقات Multilayer board : هو عبارة عن لوح الدائرة المطبوعة ذو الطبقات النحاسية المتعددة، ويتضمن طبقات داخلية inner layers .	
لوح دائرة مطبوعة	Printed Wiring Board (PWB)
لوح دائرة مطبوعة	Printed Circuit Board (PCB)
لب : هى طبقة عازلة يثبت على وجهيها طبقتين من النحاس أو طبقة واحدة على أحد وجهيها و يستخدم هذا المصطلح مع تنفيذ ألواح الدوائر المطبوعة المتعددة الطبقات.	Core
لوح الدائرة المطبوعة، تخطيط هو الدائرة التنفيذية أو العملية أو الصناعية للدائرة التخطيطية. وهي عبارة عن لوح على إحدى وجهيه أو على كلاهما طبقة نحاسية يتم تشكيلها لتأخذ شكل مسارات التوصيل للدائرة التخطيطية. و يتم توصيل أطراف أغلفة Packages العناصر الإلكترونية الحقيقية على نقاط لحام على الواجهة النحاسية تسمى وسائد pads.	Printed circuit board, Layout
لوح التشغيل : أي شريحة مستطيلة مِنْ المادّةِ الأساسيةِ أَو مادّةٍ ذات قشرة معدنية لمقاس محدّد مسبقاً لمعالجة لوح دائرة مطبوعة واحد أَو ألواحِ أكثرِ، وعندما تكون مطلوبة.	Panel

م

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
الموصل :	Conductor

	أي مساحة نحاسية على سطح لوح الدائرة المطبوعة أَو الطبقة الداخلية عادة تتكون من أراضي هبوط lands (وسائد pads) التي عليها يتم توصيل أطراف العناصر، وطرق paths (آثار traces–مسارات tracks).
Ground plane	مستوى أرضي
Track impedance	ممانعة مسار نحاسي
buffer	مصد ، مخمد ، مخفف الصدمة، معادل
Product	منتج
Power Supply	منبع قدرة كهربائية
manufacturer	منتج
enclouser	مضمن
stimulating	محاكاة
Array	مصفوفة: أي مجموعة عناصرِ أَو دوائرِ (أَو بطاقات إلكترونية) مرتبة في صفوفِ وأعمدةِ على مادّة أساسية (لوح تشغيل).
Assembly File	ملف التجميع: أي رسم يَصِفُ مواقعَ العناصر على لوح الدائرة المطبوعة.
Base Material	مادّة اساسية: هى المادّة العَازْلة التي عليها قد يشكل النمط الموصّل. وهى قَدْ تكُون متصلّبة أَو مرنة أَو كلاهما. وقَدْ تكُون شريحة معدنية معزولة أَو عازلة. تعريف آخر: هى المادة العازلة المستخدمة كبنية تحتية Substrate أو كقاعدة إنشائية foundation لشكل توصيلات الدائرة المطبوعة.
Border Area	مساحة حدودِية : هى المساحة على مادّة القاعدة التي تكون خارج الناتج النهائي المصنع خلالها.
backplane	مستوى خلفي (البطاقات الالكترونية التكميلية لأجهزة الحاسب المثبتة على الاطار الخلفي)

B-Stage Material	مادّة المرحلةِ B: مـادّة شـريحية ملقحـة أو مشـبعة بـالراتنج عولجـت لمرحلـةِ متوسّـطةِ (راتـنج مرحلةِ B). اسم الطبقة الرغوية العازلة Prepreg هو التعبيرُ الشعبي لها.
Resist	مقاومْ: مادّةِ غطاء أو طلاء تستَعملُ لإخْفاء أَو لحِماية المناطقِ المختارةِ من نمط مِنْ أى فعل لمركب حفر etchant، أو لحام، أَو تصفيح. أيضاً تسمّى قناع لحام soldermask أَو قناع mask .
Dry-Film Resists	مقاومات الفيلم الجاف: صـمّمَت مـادة التغطيـة أو الطـلاء بشـكل مُحـدّد للإسـتعمالِ فـي صـناعةِ البطاقات الإلكترونيـةِ المطبوعـةِ وكيمياوياً للأجزاءِ المميكنـة machined. وهـى مناسـبة لكُـلّ عمليـات الميكاضـوئية photomechanical وهـى تعتبر مقاوم لعمليات **الطَلاء الكهربي** و**النقش** المُخْتَلفة.
Solder Resist	مقاوم اللحام : هو غطاء مقاوم حراري مطبق إلى مناطقِ مختارةِ لمَنْع ترسيب اللحام على تلك المناطقِ أثناء لحام لاحقِ.
Edge Connector	مقبس الحافةِ: أي مقبس علـى حافـةِ البطاقـة الإلكترونيـةَ علـى شـكل وسـائد أو خطـوط (أصـابع) مطليـة ذهبٍ من الفتحـاتِ المَكْسُوةِ المستخدمة لإيصـأل البطاقـة الإلكترونيةِ الأخرى أَو الجهاز الإلكتروني.
Resin (Epoxy) Smear	مسحة راتنج (إبوكسي): الـراتنج الابوكسـي المرسـب علـى حـواف طبقـات النحـاسِ الداخليـة للـوح المطبوع، فـي الفتحـاتِ أثنـاء عمليـة الثقـب أمّـا كطـلاء موحّـد أَو فـي الرقـعِ المتفرّقـةِ. وهـو غيـر مرغـوبُ فيـه لأنـه يُمْكِنُ أَنْ يَعْزلَ الطبقـاتَ الموصّـلةَ بشكل كهربائي مِنْ الترابطِ خلال الفتحات المطلية الجدران. تعريف آخر: الراتنج المنقول مِنْ المادّةِ الأساسيةِ إلى سطحِ مقطـع النمطِ الموصّلِ فـي حـائطِ الفتحـة المثقوبـة نتيجـة احتكاك البنطـة مـع المـادة الاساسية بالحـائط

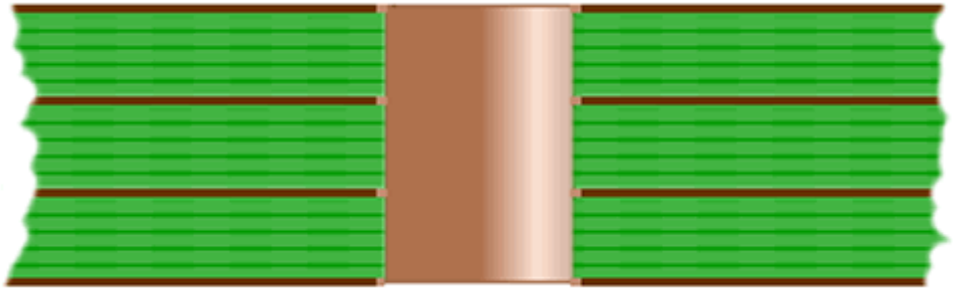
	عند سرعات الدوران الغير مناسبة.
Etch Factor	معامل النقش : هو عبارة عن النسبة بين عمقِ النقش إلى كمية النقش الجانبي، وبمعنى آخر: نسبة سُمكِ الموصل إلى كمية القطع التحتي.
Flux	مساعد اللحام: هو عبارة عن مادّة تُستَعملُ لإزالة الأكاسيد مِنْ الأسطح المعدنيةِ ويُمكّنُ من ترطيب المعدنِ باللحامِ.
Layer-to-Layer Spacing	مسافة بينية بين طبقة وطبقة: سُمك المادّةِ العازلةِ بين طبقاتِ الأنماطِ الموصّلةِ المتجاورةِ في لوح الدائرة المطبوعة.
Ground Plane	مستوى أو مسطح الأرض : كتلة المعدن الكبيرة نسبياً على لوح الدائرة المطبوعة تستخدم كأرض كهربية أو حجاب.
Controlled impedance	ممانعة محكومة: هى العملية التي تعطي الدائرة قيمة الممانعة الصحيحة. سوف يحدد مهندس التصميم ممانعة المسار المطلوبة. و على ذلك، سوف يتم اختيار الإنشاء الصناعي المناسب عند عرض مسارات مناسب و مسافات بينية للطبقة في التصميم لكي تتوافق مع الممانعة المطلوبة
Conductor Spacing	مسافة بينية للموصل: هى المسافة بين المسارات على لوح الدائرة المطبوعة.
Track	مسار نحاسي : هو المسار النحاسي الناتج من عملية تشكيل الطبقة النحاسية للوح الدائرة المطبوعة. ويتوقف عرض هذا المسار على قيمة التيار المار فيه و على ذلك يوجد منه أنواع. و يتم تخطيط و توجيه هذه المسارات إما يدوياً أو آلياً بواسطة الموجه الآلي.
Photo Resist	مقاوم الضوء : هى أي مادّة تكون حسّاسةُ إلى أجزاءِ من الطيفِ الضوئي، ولذا عندما

تكون المكشوفة بشكل مناسب يُمْكِنُ أَنْ يَخفيا أجزاءَ من معدن أساسي مَع درجة عالية مِنْ التكامل.	
المقاومة النوعية للنحاسِ : بتصميمات الخطوطِ الأدقِ finer lines ، فإن توزيع مقاومةَ النحاسِ تُصبحُ مهمة جداً. والصيغةَ المستعملة لحساب المقاومة النوعيةِ في المسارات النحاسيةِ مُعطاة بالمعادلةِ التاليةِ: $R = (0.679 \text{ X } 10^{-6} \text{ ohm/inch}) / (\text{width X thickness inches X Length})$ مثال: في تصميمات الخَطِّ الرفيع أو الدقيق، استعملُ نحاس وزنه ٠.٥ أونس. النحاس ، مسار ٠،٠٠٥ بوصة، بطول ٥ بوصات، فإن المقاومة النوعية سَتَكُونُ: $(0.679 \text{ X } 10^{-6}) / ((5 \text{ X } 0.7 \text{ X } 10^{6})) \text{ X } 5 = 0.97 \text{ OHM}$	Resistivity of Copper
مادّة احتياطية أو إسنادِية: هى طبقة سميكة بسمك يساوي ٠،٠٩٣ mil متكوّنة من فينوليك، أو ورق أَو خشب، لحِماية يافوخِ المثقابَ ويَمْنعُ القشورَ الناتجة عن خروجِ البنطة.	Backup material
مادّة الدخولِ: هى عبارة عن طبقةَ رفيعة من مادّةِ مركّبةِ أَو ورق ألمونيومِ رقيق أَو مُنتَجاتِ ورقيةِ حيث توْضُع على قمةِ الألواحِ التي ستثقب لتحسين دقة التثقيب ومْنع ظهور القشور.	Entry Material

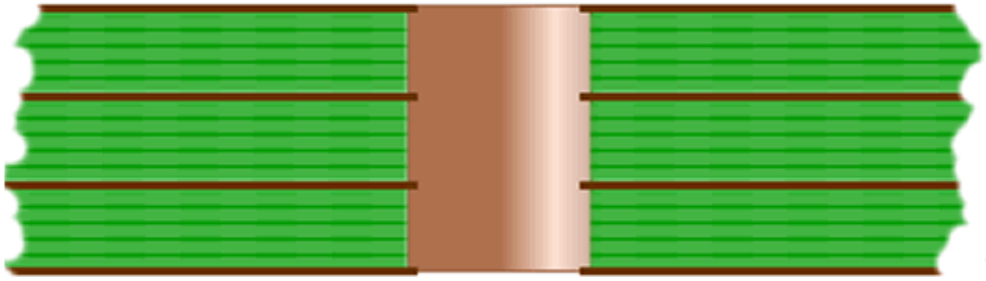
ن

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
نموذج أولي :	Prototype

	النموذج الأولي لأى دائرة أو جهاز هو إجراء كل خطوات التصنيع و التجميع لوحدة واحدة لدراسة أسهل السبل و استكشاف المشاكل التي قد تقابلنا في عملية التصنيع. بعد نجاح تصنيع و تجميع النموذج الأولي يمكن تصميم خط إنتاج و تجميع هذه الدائرة أو الجهاز في زمن قياسي.
Ground System	نظام أرضي
Aspect Ratio	نسبة الطول للعرض: هى نسبة سُمكِ لوح الدائرة المطبوعة إلى أصغر قطرِ فتحةِ مثقبة.
Base Copper	نحاس اساسي: هو عبارة عن ورق النحاس الرقيق Copper foil يأخذ شكلِ الشريحة sheet أَو القشرة clad على جانب واحد أَو كلا الجانبينِ للوح المدعوم المستعمل في الطبقات الداخلية أَو الخارجية للوح الدائرة المطبوعة.
modelling	نمذجة
Etchback / microetch	نقش دقيق : الإزالة المحكومة لكُلّ مكوّنات المادّةِ الأساسيةِ (مادة القاعدة) بواسطة فعل عملية كيميائية وفق الحوائط الجانبية sidewalls للفتحات المَطْلية لتَعْرِيض مناطقِ الموصل الداخليةِ الإضافيةِ.
Negative Etchback (microetch)	نقش دقيق سلبي: نموذجياً عندما يصبح لوح الدائرة المطبوعة مصنّعُ، فإن الفتحات المطَلية الخلالية Plated Though Holes (PTH تكون مصنّعة خلال عملية تَبْدأُ بتثبيت طبقات المادّةَ التي تَحتوي أرضَ التوصيلِ النحاسيةِ المثقوبة. بعد عدد مِنْ العملياتِ الوسّطيةِ، تنظف الفتحات المَثقوبة التي سَتُطْلَى (أَو desmeared). تُسبّبُ العمليةُ داخلياً أن الأرضَ النحاسيةَ تدخل في فجوة مِنْ حافةِ جدران الفتحةَ. ومن ثم يوضع تجميع لوح التشغيل خلال سلسلة معقدة من العمليات حيث تبدو الفتحاتَ مطَلية بالنحاسِ ومن ثم بشكل كهربائي وتَلتصقَ ميكانيكياً إلى الأرضِ النحاسيةِ للطبقاتِ المختلفةِ ضمن إنشاء لوح الدائرة المطبوعة.



Positive Etchback	نقش دقيق إيجابي: بينما يعطي النقش الدقيق السلبي التقليدي تكلّفة حَلَّ فعّالَ وموثقَ باعتدال لأغلبيةِ التطبيقاتِ، إلا أن بَعْض التطبيقاتِ مثل التطبيقاتِ الفضائيةِ أو الطبيةِ أو العسكريةِ لا تَستطيعُ تَحَمُّل جَعْل هذه المقايضة بين التكلفةِ/أداءِ. في مثل هذه التطبيقات تصبح الثقة هى الاساسية، والفتحات مطلية الجدران المصنعة بعملية النقش الدقيق (الإيجابية) هى الحَلُّ. هذه العمليةِ تجعل المادّةَ العازلةَ في حوائط الفتحةَ تنقش بدقة، جاعلةً الأرضَ النحاسيةَ بارزة خارج مستوى حافة جدران الفتحةَ. هذا يُمكّنُ عمليةَ تصفيح الفتحةِ الخلالية THP للإلتِصاق بحدود ثلاثة مِنْ جوانبِ الأرضِ النحاسيةِ، معطيةً الدرجةَ الأعظمَ للثقةِ والمناعةِ ضدّ الإعياءِ المعدنيِ بسبب إجهادِ ميكانيكيٍ فَرضَ بسبب كل من الصدمة الميكانيكية الخارجية والصدمة الحرارية.



Etching	نقش، تنميش، حفر: هى عملية الإزالة الكيمياوية، أَو الكيميائية والأليكتروليتية، للأجزاءِ الغير

مرغوبةِ للموادِ الموصّلةِ.	
نمط الفتحةِ: هو ترتيب كُلّ الفتحات في اللوح المطبوع منسوباً إلى نقطة اسناد.	Hole Pattern
نبيطة : هو التعريف الكامل للعنصر في مكتبة العناصر بالبرنامج (يمكن أن يشتمل على عدد من الوظائف المتماثلة–مثلاً عدد من البوابات المنطقية ذات النوع الواحد ...). التعريف الكامل لأي عنصر هو النبيطة حيث يشمل التغليف package و الرمز البياني symbol. جاءت الكلمة تصغير لكلمة نبطة (استنباط) و معناها أداة تحتوى على تركيبة داخلية من وظائف متماثلة وتقوم بوظيفة معينة ومثال على ذلك الدائرة المتكاملة 4011 فهى تتكون من أربعة بوابات منطقية NAND –الرمز لها هو رمز البوابة المفردة NAND –أما النبيطة فهى الدائرة المتكاملة المتكونة من أربعة بوابات–و التغليف هو شكل الدائرة المتكاملة من الخارج و بيان أطرافها الدبوسية	Device
النمط الموصّل: هو ترتيبُ أَو تصميمُ المادّةِ الموصّلةِ على اللوح المدعوم الاساسي حيث تعبر الطاقةِ الكهربائية. يَتضمّنُ الموصلات conductors، أراضي الهبوط للعناصر أو ما يطلق عليها الوسائد pads) lands) ، والتوصيلات الخلالية (الفتحات).	Conductive Pattern

هـ

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي
هاتف خليوي	cellphones

و

المصطلح الانجليزي	المصطلح العربي
Electrodeposited Foil	ورق المعدن المُرَسَّب: أي ورق معدنِي الذي يُنتَجُ بالترسيب الكهربي لمعدنٍ على مادّة تعمل كقطب سالب.
Layup	وضع لأعلى: هى العمليةَ التي فيها يتم تجميع الطبقات الرغوية العازلة prepregs والاوراق النحاسية الرقيقة وتهيئتها لتطبيق الضغط عليها.
Legend	وضع عناوين تفسيرية: هى أي صيغة تتكون من ارقام أَو رموزٍ على البطاقة الإلكترونيةِ المطبوعةِ: ومثال على ذلك: رقم الجزءِ، رقم تسلسلي، مواقع عناصر، ومواقع أنماط.
Flash=pad	وسادة (مرادف للوسادة) : و هو مصطلح آخر لكلمة pad أتى منذ أيام الرواسم الضوئية vector photoplotters ، حيث كان يتم رسم المسارات، و كان يتم توميض الوسادة . راجع تعريف الوسادة.
Pad	الوسادة (نقطة اللحام): و هى عبارة عن نقطة لحام أو مكان لحام طرف العنصر على الطبقة النحاسية للوح الدائرة المطبوعة سواءً المثقبة منها (THM) أو غير المثقبة (SMD) .

ي

المصطلح العربي	المصطلح الانجليزي

Bare Printed Circuit Board Manufacturing

عزيزي القاريء، هناك أربعة مراحل لتصنيع ألواح الدوائر المطبوعة وهى: مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة الخام raw، ثم مرحلة تصميم الواح الدوائر المطبوعة، ثم مرحلة صناعة ألواح الدوائر المطبوعة العارية bare وهى المعروفة بمرحلة ما قبل التجميع، ثم مرحلة تجميع العناصر على ألواح الدوائر المطبوعة. وهذا الكتاب يتناول صناعة ألواح الدوائر المطبوعة مرحلة ما قبل التجميع.

د. جابر الأبيض